

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE UNA ENVOLVENTE
URBANA QUE PERMITA MITIGAR EL EFECTO ISLA DE
CALOR Y SU INCIDENCIA SOBRE EL CONFORT Y EL
MEDIO AMBIENTE**

DANIEL PALAU FLÓREZ

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Ángela María Atehortúa Castillo

Master en Diseño y Construcción Sostenible



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2016**

A mi padre, quien me acompaña en todo momento, a mi madre, quien además de haber asumido el rol de madre y padre, ha sido paciente así como un apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco de forma especial a la ingeniera Ángela Atehortúa por su guía y apoyo incondicional durante la ejecución del siguiente trabajo de grado, de no ser por ella no hubiese sido posible, le agradezco también a Jhon Alexander Arenas del área de laboratorios de la universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia por su proactividad y buena disposición en todo momento, le agradezco al Ingeniero José Fernando Jiménez de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional ya que sin su lineamiento no hubiese sido posible la realización de este trabajo, agradezco al Ingeniero Carlos Daniel Ruiz por su buena disposición y paciencia para guiarme en el planteamiento y desarrollo metodológico del trabajo y finalmente agradezco a la Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia por el apoyo prestado con los equipos de medición empleados.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	3
1. PRELIMINARES.....	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Contexto y caracterización del problema	5
1.2.1 Deterioro en la calidad del agua.	7
1.3 Formulación del problema	7
1.4 Objetivos del proyecto	10
1.4.1 Objetivo General.....	10
1.4.2 Objetivos Específicos	10
1.5 Marco de referencia.....	11
1.5.1 Antecedentes	11
1.5.2 Bases conceptuales	15
1.5.3 Bases teóricas.....	25
2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	31
2.1 IDENTIFICACIÓN DE ENVOLVENTES URBANAS TÍPICAS	31
2.2 Materiales a evaluar	33
2.3 Determinación de parámetros.....	37
2.3.1 Variables de la investigación	37
2.3.2 Parámetros de medición.....	39
2.3.3 Técnicas e instrumentos para recolectar información	40

2.4	Diseño y ejecución de experimento	42
2.4.1	Planteamiento caso de estudio.....	42
2.5	Gráficos y Resultados.....	47
2.5.1	Técnicas para análisis de la información	65
2.6	Comparación y recomendación de envolverte	84
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	90
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES	94
ANEXO 1	.....	100
ANEXO 2	.....	101
ANEXO 3	.....	102
ANEXO 4	.....	103
ANEXO 5	.....	104
ANEXO 6	.....	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1, Tipo de cubiertas en construcciones empleadas en el municipio de Medellín según la encuesta de calidad de vida de catastro año 2011, tomado de (Jiménez Mejía , 2016) 20

Tabla 2, Tipo de armazones o fachadas en construcciones empleadas en el municipio de Medellín según la encuesta de calidad de vida de catastro año 2011, tomado de (Jiménez Mejía , 2016)..... 20

Tabla 4, Muestras de materiales de fachada evaluados 33

Tabla 5, Muestras de materiales de cubierta evaluados 34

Tabla 6, Muestras de pavimento evaluadas 36

Tabla 7, valores de emisividad a emplear en el estudio, adaptado de (Fluke, 2013) y (Rougeron, 1977)..... 39

Tabla 8, densidad y conductividad térmica a 0 °C de aislantes de poliestireno, tomado de (Shawyer, Medina , & A.F, 2005) 44

Tabla 9, resumen estadístico de ajuste de datos 77

Tabla 10, coeficientes de correlación de las variables externas respecto al comportamiento térmico de los materiales evaluados 78

Tabla 11, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada oriente 12:00 80

Tabla 12, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada oriente 15:00 81

Tabla 13, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada occidente 12:00 81

Tabla 14, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada occidente 15:00 82

Tabla 15, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso cubierta 12:00 82

Tabla 16, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso cubierta 15:00.....	83
Tabla 17 de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso pavimentos 12:00	83
Tabla 18, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso pavimentos 15:00	84
Tabla 19, matriz de decisión de envoltente	88

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1, proceso de ocupación de la mancha urbana del Valle de Aburrá en la segunda mitad del siglo XX. (Shnitter, Giraldo, & Patiño, 2006).</i>	4
<i>Figura 2, relación entre consumo medio de energía vs temperatura media diaria, tomado de (Fischer, 2012).</i>	6
<i>Figura 3. Zonas identificadas del valle de Aburra 2010, (Trujillo Uribe, 2012).</i>	12
<i>Figura 4. Estadio Atanasio Girardot con temperatura superficial promedio de 21.8 °C (Trujillo Uribe, 2012).</i>	13
<i>Figura 5. Parque norte y Jardín Botánico de Medellín con temperatura superficial promedio de 23.2 °C (Trujillo Uribe, 2012).</i>	13
<i>Figura 6. Cerros El Volador y Nutibara con temperatura superficial promedio de 23.8 °C y 23.2 °C (Trujillo Uribe, 2012).</i>	13
<i>Figura 7. Zona industrial Barrio Colombia con temperatura superficial promedio de 34.9 °C (Trujillo Uribe, 2012).</i>	14
<i>Figura 8 Zona industrial de la autopista y el municipio de Itagüí con temperatura superficial promedio de 34.5 °C (Trujillo Uribe, 2012).</i>	14
<i>Figura 9, dibujo conceptual de la evolución de isla de calor diurna bajo condiciones tranquilas y despejadas adaptada de (US Environmental Protection Agency).</i>	16
<i>Figura 10, balance de energía en zona urbana, parámetros de influencia en el balance térmico favorables al efecto de "Isla de Calor" (US Environmental Protection Agency)....</i>	16
<i>Figura 11, Evapotranspiración, escorrentía e infiltración según la superficie de recubrimiento (US Environmental Protection Agency).</i>	17
<i>Figura 12, Variación de temperatura atmosférica y de superficie. (US Environmental Protection Agency)</i>	18
<i>Figura 13, Clasificación de sitios urbanos en terrenos complejos basado en Wanner y Filliger, tomado de (Jiménez Mejía , 2016)</i>	26
<i>Figura 14, Energía solar versus alcance de longitud de onda incidente en la superficie de la tierra (US Environmental Protection Agency).</i>	28
<i>Figura 17, Fachada casa ubicada en zona cola del zorro (Villa Verde)</i>	31

Figura 18, Materiales típicos empleados en envolvente sector cola del zorro	31
Figura 19, Fachada sector escobero, parte baja.....	31
Figura 20, Fachada típica sector balsos con Av inferior	31
Figura 21, Fachada típica sector las cometas.....	32
Figura 22, Vista materiales de envolventes típicas, sector Suramericana.....	32
Figura 24, Fachada típica sector laureles Av. Jardín	32
Figura 23, Materiales típicos barro Fátima.....	32
Figura 27, Fachada típica balsos sector ISA.....	32
Figura 26, fachada típica zona Padre Marianito.....	32
Figura 25, Fachada típica sector balsos 1	32
Figura 28, Estación meteorológica Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia	40
Figura 29, Estación meteorológica Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia, estructura completa	40
Figura 30, Cámara termografía FLUKE Ti100 empleada, datos de fabricación y de firmware.	41
Figura 31, bosquejo de placa a construir.	43
Figura 32, Ubicación y disposición de montaje experimenta.....	45
Figura 33, disposición de muestras en placa aislante.	45
Figura 34, detalle de disposición de fachada.	46
Figura 35, Toma y procesamiento de temperatura media de grama, material con comportamiento heterogéneo, 11 de octubre de 2016 (11:50).....	47
Figura 36, Máxima T catalán oscuro fachada oriente, 6 de octubre (11:40)	48
Figura 39, Máxima T bloque blanco fachada oriente, 6 de octubre (11:40).....	48
Figura 37, Máxima T catalán claro fachada oriente, 6 de octubre (11:40).....	48
Figura 38, Máxima T bloque fachada oriente, 6 de octubre (11:40)	48
Figura 41, Máxima T catalán claro fachada occidente, 20 de octubre (14:50).....	48

Figura 40, Máxima T catalán oscuro fachada occidente, 20 de octubre (14:50).....	48
Figura 43, Máxima T bloque blanco fachada occidente, 20 de octubre (14:50).....	48
Figura 42, Máxima T bloque fachada occidente, 20 de octubre (14:50)	48
Figura 44, Máxima T catalán oscuro, 4 de octubre (10:50)	56
Figura 45, Máxima T teja roja Onduvilla, 13 octubre (14:15).....	56
Figura 46, Máxima T teja roja polipropileno Viplast, 14 de Octubre (9:20)	56
Figura 47, Máxima T teja verde gravillada, 14 de octubre (12:15).....	56
Figura 48, Máxima T teja Eternit, 14 de octubre (13:21)	56
Figura 49, Máxima T teja aislante poliuretano, 14 de octubre (13:21)	56
Figura 50, Máxima T teja UPVC aislante con fibra de carbono, 14 de octubre (13:21)	57
Figura 51, Máxima T teja con recubrimiento blanco, 6 de octubre (11:40)	57
Figura 52, Máxima T teja standing seam FV ATAC N°4, 14 de octubre (13:21).....	57
Figura 53, Máxima T pavimento color café tipo F, 14 de octubre (12:15).....	61
Figura 54, Máxima T pavimento color rojo tipo F, 14 de octubre (12:15).....	61
Figura 55, Máxima T pavimento mezcla densa en caliente, 14 de octubre (12:15)	61
Figura 56, curva de Lorenz, adaptado de (Montás & Allende, 2007).....	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica 1, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 10 de 2016	49
Gráfica 2, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 10 de 2016	49
Gráfica 3, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 11 de 2016	50
Gráfica 4, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 12 de 2016	50
Gráfica 5, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 13 de 2016	50
Gráfica 6, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 14 de 2016	51
Gráfica 7, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 18 de 2016	51
Gráfica 8, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 19 de 2016	51
Gráfica 9, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 20 de 2016	52
Gráfica 10, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 6 de 2016	52
Gráfica 11, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 10 de 2016.....	53
Gráfica 12, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 11 de 2016.....	53
Gráfica 13, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 12 de 2016.....	53
Gráfica 14, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 13 de 2016.....	54

Gráfica 15, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 14 de 2016.....	54
Gráfica 16, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 18 de 2016.....	54
Gráfica 17, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 19 de 2016.....	55
Gráfica 18, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 20 de 2016.....	55
Gráfica 19, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 4 de 2016.....	57
Gráfica 20, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 6 de 2016.....	57
Gráfica 21, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 10 de 2016.....	58
Gráfica 22, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 11 de 2016.....	58
Gráfica 23, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 12 de 2016.....	58
Gráfica 24, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 13 de 2016.....	59
Gráfica 25, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 14 de 2016.....	59
Gráfica 26, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 18 de 2016.....	59
Gráfica 27, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 19 de 2016.....	60
Gráfica 28, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 20 de 2016.....	60
Gráfica 29, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 4 de 2016.....	61
Gráfica 30, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 6 de 2016.....	62

Gráfica 31, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 10 de 2016.....	62
Gráfica 32, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 11 de 2016.....	62
Gráfica 33, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 12 de 2016.....	63
Gráfica 34, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 13 de 2016.....	63
Gráfica 35, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 14 de 2016.....	63
Gráfica 36, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 18 de 2016.....	64
Gráfica 37, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 19 de 2016.....	64
Gráfica 38, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 20 de 2016.....	64
Gráfica 39, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Índice de Calor [Gumbel Mínimo].....	66
Gráfica 40, distribución acumulada CDF de Índice de Calor, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	66
Gráfica 41, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Radiación Solar [Exponencial Desplazada].....	67
Gráfica 42, distribución acumulada CDF de Radiación Solar, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	67
Gráfica 43, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Energía Solar [Logarítmica Normal].....	67
Gráfica 44, distribución acumulada CDF de Energía Solar, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	67
Gráfica 45, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de grama [Logarítmica Normal]	68
Gráfica 46, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de grama, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	68

Gráfica 47, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el oriente [Logarítmica Normal].....	69
Gráfica 48, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	69
Gráfica 49, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el oriente [Normal]	69
Gráfica 50, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	69
Gráfica 51, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque hacia el oriente [Logarítmica Normal].....	69
Gráfica 52, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	69
Gráfica 53, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el oriente [Logarítmica Normal].....	70
Gráfica 54, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	70
Gráfica 55, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el occidente [Logarítmica Normal]	70
Gráfica 56, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	70
Gráfica 58, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	70
Gráfica 57, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el occidente [Logarítmica Normal]	70
Gráfica 59, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque hacia el occidente [Logarítmica Normal]	71
Gráfica 60, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	71
Gráfica 61, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el occidente [Logarítmica Normal]	71
Gráfica 62, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	71

Gráfica 63, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Ladrillo Catalán Oscuro (símil teja de barro) [Logarítmica Normal].....	72
Gráfica 64, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Ladrillo Catalán Oscuro (símil teja de barro), punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	72
Gráfica 65, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Roja Onduville [Logarítmica Normal].....	72
Gráfica 66, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Roja Onduville, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	72
Gráfica 67, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Roja Viplast [Logarítmica Normal].....	72
Gráfica 68, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Roja Viplast, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	72
Gráfica 69, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Verde Gravillada [Logarítmica Normal]	73
Gráfica 70, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Verde Gravillada, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	73
Gráfica 71, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja de Eternit [Logarítmica Normal]	73
Gráfica 72, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja de Eternit, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	73
Gráfica 73, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja con aislante de Poliuretano [Logarítmica Normal].....	73
Gráfica 74, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja con aislante de Poliuretano, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	73
Gráfica 75, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja UPVC con aislante de fibra de carbono [Logarítmica Normal].....	74
Gráfica 76, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja UPVC con aislante de fibra de carbono, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	74
Gráfica 77, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Metálica blanca [Logarítmica Normal]	74
Gráfica 78, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Metálica blanca, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	74

Gráfica 79, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Standing Seam FV ATAC N°4 [Logarítmica Normal].....	74
Gráfica 80, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Standing Seam FV ATAC N°4, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	74
Gráfica 81, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color café [Coseno]	75
Gráfica 82, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color café, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia.....	75
Gráfica 83, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color rojo [Logarítmica Normal]	75
Gráfica 84, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color rojo, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia	75
Gráfica 85, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Microaglomerado en Caliente tipo F1 [Logarítmica Normal]	76
Gráfica 86, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Microaglomerado en Caliente tipo F1, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia .	76

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1, certificado de calibración cámara Fluke Ti100	100
Anexo 2, certificado de mantenimiento estación meteorológica Davis Vantage pro 2 Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia.....	101
Anexo 3, datos obtenidos de mediciones en placa horizontal, (cubiertas y pavimentos)	102
Anexo 4, datos obtenidos de mediciones en placas verticales, (fachadas)	103
Anexo 5, datos obtenidos de estación meteorológica simplificados	104

RESUMEN

La economía colombiana ha tenido una transformación drástica durante el último siglo, pasando de ser netamente agrícola a tener un grado de industrialización. Dado que la industrialización inicio a desarrollarse a comienzos del siglo XX, a causa de los beneficios que brindaron la primera guerra mundial, la expedición de leyes proteccionistas y la ampliación del mercado por un aumento de los ingresos en las zonas cafeteras. Esto género en la ciudad de Medellín el inicio de la fabricación de telas, con empresas tales como Fabricato y Coltejer, así como Posada Tobón como compañía dedicada a la producción de bebidas no alcohólicas y Coltabaco, por enumerar algunos ejemplos (Universidad de Antioquia, 2010). Ante dicho cambio aumentaron los asentamientos de población urbana alrededor de las nuevas industrias florecientes, en donde el aumento de la densidad poblacional de forma acelerada y repentina generó un aumento en la demanda requerida de viviendas. Esto desemboco en la construcción acelerada de edificaciones para dicho fin, lo cual ha generado efectos como la isla de calor. Dicho efecto se presenta al cambiar zonas verdes por estructuras masivas que emplean materiales con ciertas propiedades termofísicas que promueven el aumento de la temperatura de una región dada, teniendo como consecuencia un aumento en el consumo energético, en las emisiones de gases de efecto invernadero y propiciando problemas de insalubridad y en consecuencia el discomfort para la población.

Este trabajo de grado está enfocado en la comparación a través de un enfoque prescriptivo a través de la comparación de datos obtenidos de series históricas de comportamientos térmicos en la ciudad de Medellín con datos obtenidos del montaje de un experimento físico, en donde se busca evaluar la incidencia del cambio de materiales de la envolvente de un espacio urbano en el efecto de isla de calor, con el objetivo de evaluar diferentes alternativas que permitan mitigar este efecto y tener elementos de juicio para la toma de decisiones en el momento de utilizar determinados materiales en la envolvente constructiva urbana en la ciudad de Medellín.

Palabras clave: comportamiento térmico, confort térmico, envolvente urbana, isla de calor.

ABSTRACT

The Colombian economy has had a dramatic transformation over the past century, from being mostly agricultural to have some degree of industrialization, since industrialization began to develop in the early twentieth century because of the benefits that the First World War impelled, the issue of protectionist laws and market expansion for increased revenues in coffee areas, generating specifically in the city Medellín, the birth of factories, with companies such as Fabricato and Coltejer and Posada Tobón as a company dedicated to the production of non-alcoholic beverages, Coltabaco, to name a few examples (Universidad de Antioquia, 2010); as consequence, that change increased settlements of population around the new flourishing industries in urban areas, where population density increased suddenly and rapidly causing a raise in the demand of buildings for living which caused a raise in the ratio of construction to satisfy the situation, has generated effects like heat island, which occurs when changing areas covered with vegetation and green surfaces by massive structures that abuse of the usage of certain materials with thermophysical properties that promotes the raise of temperature in a specific placement, causing then an increase of energy consumption, emissions of greenhouse gases and encouraging problems of poor health and therefore the discomfort for the population.

This work grade is focused on the comparison through a prescriptive approach by comparing data obtained from historical series of thermal behavior in the city of Medellín with data obtained from the assembly of a physical experiment, which seeks to assess the impact of changes from materials of the envelope of an urban space on the effect of heat island, with the aim of evaluating alternatives to mitigate this effect and have evidence for decision-making at the time of using certain materials surround the urban construction in Medellín city.

Keywords: thermal performance, thermal comfort, urban envelope, heat island.

INTRODUCCIÓN

“Hoy, por primera vez en la historia, más del 50% de la población mundial vive en centros urbanos, y se estima que antes del 2050 este porcentaje alcanzará el 75%. Estos datos demuestran de forma contundente como la urbanización es un proceso irreversible,” (Echeverri Restrepo & M. Orsini).

Específicamente para la ciudad de Medellín el proceso de urbanización se ve ligado con una demanda creciente del suelo, servicios públicos, vivienda e infraestructura, en donde la ocupación del centro del valle inicio entre los siglos XVII – XIX, en donde surgen los núcleos que dieron origen a las municipalidades del Valle, los cuales hasta el presente, continúan siendo los mismos, sin cambios y perdurando todos a lo largo del tiempo. No obstante, surgen otros hechos tales como la concentración de recursos, actividades y población en el núcleo central del entorno, en municipio de Medellín, fenómeno que florece en el siglo XX. Se evidencia entonces que al llegar el siglo XX, Medellín fue una ciudad con factores diferenciadores a sus vecinos tanto por su población como por la complejidad de las actividades e infraestructura física y social que la caracterizan aún.

“El mundo de los negocios se había desarrollado notablemente, así como los servicios de educación y salud, los cuales eran un factor multiplicador de la población por la atracción que ejercían sobre los pobladores de otras regiones” (Alvarez, 1996).

Se evidencia de forma más directa el crecimiento poblacional ocurrido en el siglo 20 con la ayuda del siguiente grafico obtenido de una investigación llamada “Estudio de forma y el crecimiento urbano del Valle de Aburrá, realizado por la Universidad Pontificia Bolivariana y ANLA en el 2006”.

Según las tendencias que se evidencian, para el 2020, se espera el aumento de un millón de habitantes respecto a la población actual (Shnitter, Giraldo, & Patiño, 2006), lo cual es objeto de llamado de atención a pensar en las limitaciones de tierras urbanizables en el Valle de Aburrá, así mismo como la forma en la cual se dispondrá de las mismas desde el punto de vista de construcción de infraestructura.

Viendo esto se debe decir también que la aglomeración de personas en las áreas urbanas hace necesaria la provisión de numerosas facilidades sin las cuales la vida en esta tipología de comunidad resultaría utópica. Dichos servicios consideran transporte, vivienda, agua potable, alcantarillados, entre otros (Rother, 1989).

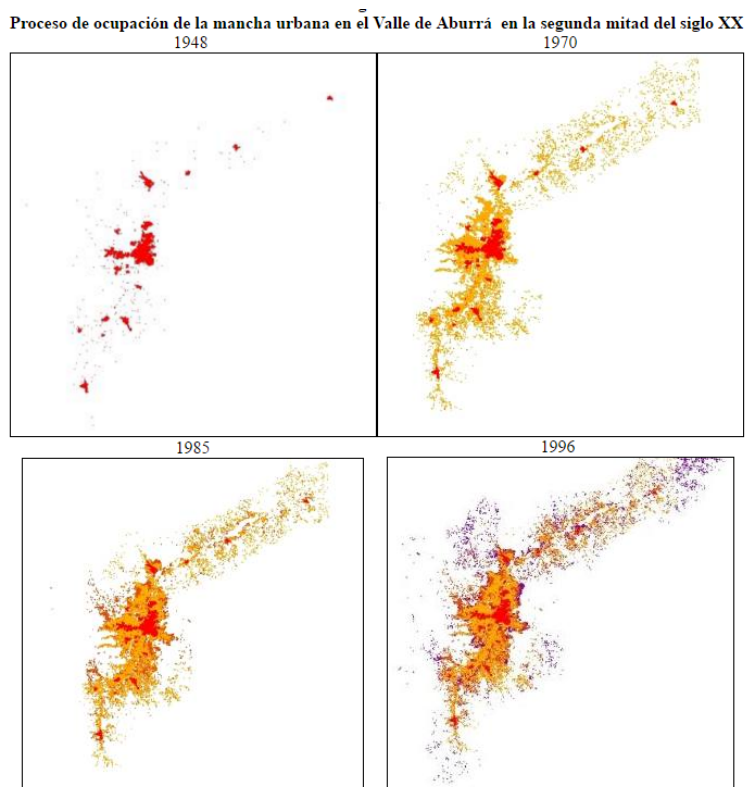


Figura 1, proceso de ocupación de la mancha urbana del Valle de Aburrá en la segunda mitad del siglo XX. (Shnitter, Giraldo, & Patiño, 2006).

Se tiene que la necesidad de construir infraestructura para responder a las necesidades mencionadas entonces se debe abordar con buen criterio y responsabilidad, cumpliendo las normas técnicas y considerando el impacto ambiental de modificar el entorno, mitigando el discomfort térmico generado, y los problemas de salubridad que genera el efecto de isla de calor.

Como primera aproximación se puede decir entonces que las islas de calor urbano constituyen un fenómeno que se caracteriza por una sensación de mayor calor respecto a las zonas rurales cercanas, las cuales se forman debido que la infraestructura y los materiales empleados en la construcción urbana absorben energía proveniente de la radiación solar que liberan posteriormente en forma de calor, por el contrario los lugares naturales con cubiertas vegetales densas que generan sombras y tienen un bajo grado de absorción de energía. El fenómeno representa un problema al generar olas de calor con mayores temperaturas y de mayor duración, además puede influenciar los estados del tiempo, cambiar patrones de viento, nubes y lluvia. (Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra, 2016), afectar la salud de las personas y aumentar el consumo energético de las ciudades.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un día soleado de verano la temperatura de la envolvente urbana puede ser mayor a la del aire, mientras que las superficies húmedas y con sombras, generalmente las zonas rurales circundantes, permanecen con temperaturas cercanas a las del aire (Bretz, 1997). Este fenómeno de **islas de calor** en las superficies urbanas, tiene múltiples impactos aumentando la temperatura en hasta 12°C respecto al aire en las vecindades, donde las regiones son menos desarrolladas (Akbari, 2005).

Estas temperaturas elevadas como producto del efecto de **islas de calor**, particularmente en climas tropicales, puede afectar el medio ambiente y la calidad de vida de toda una comunidad. Aunque algunos de estos impactos pueden ser beneficiosos, como el aumento de la temporada de crecimientos de plantas de cultivos, la gran mayoría de sus efectos son negativos como lo son el aumento en el consumo energético, en las emisiones de gases de efecto invernadero y en problemas de salubridad y confort para la población.

1.2 CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

Las temperaturas elevadas de las ciudades tropicales implican un aumento en la demanda energética para sistemas de enfriamiento. Algunas investigaciones muestran que la demanda eléctrica para satisfacer las necesidades de dichos sistemas aumenta de 1.5 a 2% por cada 1°F (0.6°C) que se incremente la temperatura del aire, tomando como temperatura inicial un intervalo de 20 a 25°C, apuntando a que del 5 al 10% de la demanda energética de la población es utilizada única y exclusivamente para compensar los efectos del fenómeno de “isla de calor” (Akbari, 2005).

Un claro ejemplo que muestra la veracidad de este fenómeno es la curva de demanda energética vs la temperatura evidenciada durante el verano del año 2012, en donde es evidente que a mayor temperatura existe una mayor demanda energética.

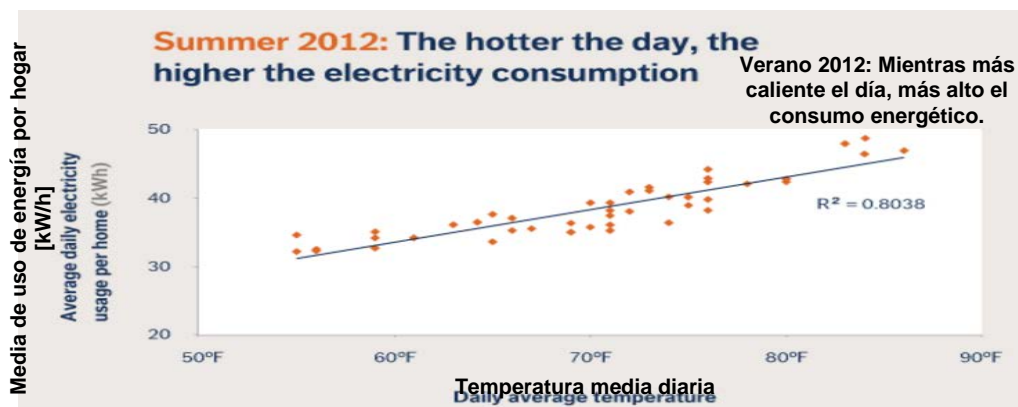


Figura 2, relación entre consumo medio de energía vs temperatura media diaria, tomado de (Fischer, 2012).

Durante eventos de calor extremo, que son agravados por el fenómeno de islas de calor, se genera una demanda excesiva de los sistemas de enfriamiento, los cuales pueden sobrecargar el sistema de redes eléctricas, por lo cual se requiere un control institucional para evitar apagones eléctricos.

En adición a esto, las temperaturas elevadas pueden incrementar de forma directa en la tasa de formación de ozono a nivel del terreno. El ozono a nivel de terreno se forma cuando los NO_x reaccionan con componentes volátiles orgánicos (VOCs) en presencia de luz solar y un clima cálido. Si las otras variables se mantienen iguales, tales como los niveles de emisiones precursoras en el aire, así como la velocidad y dirección del viento, se formará una mayor cantidad de ozono al nivel del terreno a medida que el ambiente se encuentre más soleado y caliente.

El incremento de las temperaturas durante el día, la reducción del enfriamiento durante las noches, y los altos niveles de contaminación en el aire a causa de los efectos de “isla de calor urbana” pueden afectar la salud humana ya que inciden en el aumento de malestar general, dificultades respiratorias, calambres por calor y agotamiento, paros cardíacos no fatales y aumento de la mortalidad ligada al calor.

El fenómeno puede agravar también el impacto de las olas de calor, las cuales son periodos en los cuales el clima es especialmente caliente y húmedo, en donde la población especialmente sensible, tales como niños, personas mayores y personas con patologías preexistentes corren alto riesgo de complicaciones de salud a causa de este evento.

Dichos eventos de calor excesivo, o el aumento abrupto y dramático en las temperaturas, son particularmente peligrosos y pueden desencadenar en un aumento de las tasas de mortalidad. El centro de control y prevención de enfermedades de Norteamérica (CDC)

estima que desde 1979 hasta 2003, la exposición excesiva al calor ha contribuido en más de 8000 muertes prematuras en Estados Unidos. Dicha cifra excede el número de muertes resultantes de huracanes, tormentas eléctricas, tornados, derrumbes y terremotos combinadas (Center for Disease Control and Prevention, 2006).

1.2.1 Deterioro en la calidad del agua.

Las altas temperaturas en los pavimentos, así como en los techos pueden llegar a calentar la escorrentía proveniente de la lluvia. Algunas pruebas han mostrado que pavimentos que se encuentran a 38°C pueden elevar la temperatura del agua de escorrentía desde 21°C hasta 35°C, dicha agua que se ha calentado desemboca en un sistema de alcantarillado aumentando la temperatura de todo el sistema de tuberías, el cual desemboca en ríos, lagos, lagunas, entre otras fuentes de agua.

La temperatura del agua incide directamente en la vida acuática, especialmente en el metabolismo y la reproducción de una gran cantidad de especies acuáticas. Los cambios de temperatura rápidos y repentinos en los sistemas acuáticos pueden generar un gran estrés, pudiendo llegar a ser hasta fatales para la vida acuática (James, 2002).

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Colombia es un país que durante el último siglo ha experimentado un cambio radical en la dinámica de su economía, pasando de un desarrollo netamente rural a una urbanización acelerada. A principios del siglo anterior, específicamente durante las primeras décadas, el aumento en la población fue absorbida por el campo en mayor parte. A pesar de esto, después de los años 40, aumento de sobremanera el proceso de urbanización debido a la crisis agraria, desequilibrios regionales, el aumento en la prestación de servicios, el auge del comercio y la violencia política. La tasa de crecimiento urbano se duplicó entonces, pasando de 2.7 a 24 millones de habitantes a 1990. Esta nueva población se acentuó en su mayoría en centros urbanos. Colombia entonces observó en estas décadas el surgimiento de una malla urbana distribuida de forma equilibrada a lo largo de todo el terreno nacional (Plata, 1999).

En consecuencia, a medida que las áreas urbanas se desarrollan, una serie de cambios ocurren en su entorno, las edificaciones, carreteras y demás obras de infraestructura empiezan a reemplazar el campo abierto y la vegetación preexistente. Entonces las superficies anteriormente cubiertas con vegetación pasan de ser húmedas y permeables a secas e impermeables sin remedio, dicho cambio causa que las regiones urbanas se

calienten más que su entorno rural, formando una isla de calor de mayor temperatura que su entorno.

“La temperatura del aire en zonas urbanas densamente construidas es mayor que la temperatura en los alrededores de la ciudad. Este fenómeno se conoce como Isla de Calor Urbana y entre los factores de influencia de mayor peso se encuentran la geometría urbana, la influencia del calor antropogénico y las propiedades térmicas de los materiales de construcción” (Correa E.N, 2003).

El fenómeno de islas de calor ocurre tanto en la superficie del terreno como en la atmósfera. En un día soleado en temporada de verano, el sol puede generar una cantidad de radiación tal que las superficies urbanas expuestas como techos, fachadas y pavimentos alcancen temperaturas de 27 a 50°C más altas que el aire, mientras que las zonas sombreadas o húmedas (generalmente condiciones de entornos rurales) permanecen con temperaturas cercanas a la temperatura del aire. Las islas generadas por estas superficies urbanas se encuentran presentes por lo general día y noche, aunque la tendencia muestra que el efecto es mayor en días en los cuales brilla el sol (Bretz, 1997). Un ejemplo es que predominan en los techos que representan un 25% de la superficie de una ciudad, los colores cafés de las tejas tradicionales y las losas de concreto, lo que ayuda a retener más calor, los edificios reflejan la radiación recibida, en mayor medida los que cuentan con fachadas vidriadas, los pavimentos debido a sus colores oscuros retienen también el calor de la radiación recibida durante el día y la liberan paulatinamente durante la noche. La circulación de autos, aunque no son el mayor impacto, la contaminación que emiten puede cambiar las propiedades de radiación de la atmósfera y distintos estudios han demostrado que en muchas ocasiones esta queda atrapada sobre la ciudad por el encerramiento en el valle. Y por último la disminución de árboles y de zonas verdes que reducen las sombras y la humedad para enfriar el ambiente (Gómez, 2014).

Además, se debe tener en cuenta que el efecto de isla de calor en la atmósfera es por lo general débil en las horas de la mañana, para volverse más pronunciado después del atardecer a causa de la lenta liberación de calor por parte de la infraestructura urbana. La temperatura media del aire de una ciudad con un millón o más de habitantes puede situarse en torno de 1 a 3°C más caliente que su alrededor; en una noche calmada y despejada por otro lado, la diferencia de temperatura puede llegar a ser de hasta 12°C (Akbari, 2005).

Es imperante admitir que en la ciudad de Medellín ha habido un importante cambio climático, durante los últimos años se han evidenciado notables cambios en la temperatura e importantes oleadas de calor, llegando a registrarse temperaturas de hasta 33°C; alteraciones que sería erróneo atribuir exclusivamente al calentamiento global, pues existen otros factores que alteran el hábitat urbano y que están asociados al desarrollo y crecimiento de las ciudades que traen consigo grandes construcciones, este desarrollo es

necesario, sin embargo poco consciente, de donde se produce el mencionado efecto isla de calor.

En el artículo del Colombiano **Por qué se calienta tanto Medellín** el profesor *Carlos Daniel Ruiz Carrascal* de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, indica que la temperatura en la ciudad de Medellín ha venido subiendo $0,2^{\circ}\text{C}$ por década desde 1942, ésta afirmación está fundamentada en datos obtenidos de la estación del aeropuerto Olaya Herrera, así mismo dice que "Las tendencias más críticas se observan en los registros de temperatura mínima", en donde se observa un aumento de $0,7^{\circ}\text{C}$ por década. Es importante anotar que este aumento es tres veces mayor al del planeta. (Gómez, 2014)

Del análisis efectuado en el trabajo de grado de la Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia "Estimación de temperatura superficial en el Valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota", el autor Trujillo Uribe concluye "Las zonas industriales cubiertas en su mayoría por techos de color gris tienen una temperatura superficial entre 12 y 14°C mayor a la de las zonas verdes que hallamos dentro de la ciudad. Esto demuestra en casos puntuales que la diferencia en la temperatura superficial (TS) entre las diferentes estructuras tiene un valor considerable. Estos datos arrojan importantes resultados en cuanto al confort térmico dentro de las instalaciones como oficinas o fábricas, pues una temperatura superficial mayor aumentará la temperatura interna de estas estructuras, obligando a quienes las habitan a utilizar más los equipos de aire acondicionado, con el fin de mantener las condiciones de trabajo óptimas." Lo cual muestra que las zonas en las cuales ha habido una mayor tasa de construcción ha habido un aumento significativo de la isla de Calor Urbano, debido principalmente al recubrimiento de zonas verdes por **superficies duras**, el autor también considera como conclusión a su trabajo que "los efectos de este fenómeno, que se presentan por el mayor calentamiento de las superficies duras, sí tienen y seguirán teniendo un impacto significativo sobre la ciudad y sus habitantes." El autor propone también soluciones que se han venido empleando en el mundo como lo son el uso de techos y muros verdes, techos fríos y pavimentos fríos o permeables; lo cual muestra que los materiales son un factor determinante en cuanto al efecto de isla de calor urbana.

Se ve entonces que "la distribución de la temperatura en el área urbana está influenciada por la radiación solar absorbida por los materiales que la componen. Las propiedades termofísicas de dichos materiales, especialmente el albedo solar y la emisividad infrarroja, tienen un fuerte impacto en el balance energético de las ciudades" (Correa E.N, 2003), por lo cual el problema a enfrentar es el identificar materiales de construcción tales que sus propiedades termofísicas puedan aportar a la mitigación del efecto de "Isla de Calor", generando una primera aproximación para toma de decisiones a la hora de construir futuras edificaciones.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.4.1 Objetivo General

Evaluar alternativas de envolvente urbana que permitan mitigar el efecto isla de calor, mediante análisis prescriptivo de materiales a través de experimento físico y estudios de caso en la ciudad de Medellín.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las envolventes que tienen impactos en el aumento del efecto isla de calor para definir los casos de estudio.
- Determinar los parámetros relevantes del experimento físico tales como las variables a considerar, la metodología a seguir y las propiedades termofísicas de los materiales comúnmente utilizados.
- Diseñar y ejecutar experimento físico para generar grafico diurno de comportamiento térmico de materiales bajo condiciones controladas, confort y medio ambiente.
- Realizar una comparación y recomendación de envolvente mediante el análisis de los resultados obtenidos en la ejecución del experimento.

1.5 MARCO DE REFERENCIA

1.5.1 Antecedentes

En el trabajo de Índice de Reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana (Noelia Liliana Alchapar, 2012), los autores hablan acerca del incremento de las temperaturas de una ciudad con relación a las áreas periféricas conduce a la formación de una Isla de Calor Urbana, por lo cual se propone el trabajar sobre las propiedades termofísicas de los materiales (techos, pavimentos y fachadas) como una estrategia de mitigación viable para disminuir las temperaturas de una ciudad. Para esto estudian la capacidad de 80 revestimientos para fachadas para mitigar los efectos negativos de la Isla de Calor Urbana, mediante la determinación del Índice de Reflectancia Solar (SRI), en donde los resultados obtenidos confirmaron que los materiales que componen los espacios urbanos absorben la radiación solar e infrarroja y disipan parte del calor hacia la atmosfera, en el cual el rol del uso de revestimientos en la envolvente urbana desempeña un papel decisivo en la reducción de las ganancias térmicas y el sobrecalentamiento de una ciudad.

Se llegó también a la conclusión de que las prestaciones térmicas de los revestimientos verticales se deben asociar al comportamiento simultáneo de la textura, color y composición. En donde se concluyó que el color parece ser la variable de mayor impacto en la temperatura superficial de los revestimientos y en consecuencia sobre su Índice de Reflectancia Solar.

Por otro lado en el trabajo de “Isla de calor urbana en zonas áridas. Comportamiento térmico de pavimentos peatonales” (N. Alchapar, 2010) se analizó el comportamiento térmico de 38 tipos de pavimento peatonal presentes en el mercado local y su relación con las propiedades físicas de los materiales. El objetivo final fue caracterizar el comportamiento térmico de los materiales disponibles regionalmente para la resolución de las envolventes urbanas a fin de promover aquellos que resulten más eficientes en torno a la disminución de las temperaturas de la ciudad. Los resultados demostraron que a igualdad de calidad estética y prestación, es posible mejorar el desempeño térmico de la envolvente mediante la selección adecuada de la forma, color, composición y acabado del material, generando una herramienta válida para apoyar decisiones de diseño urbano y edificios sustentables.

En la décima conferencia de pavimentos asfálticos en la ciudad de Quebec se dijo que las estructuras pavimentadas son una de las principales causas del efecto de la isla de calor, ya que cubren una gran superficie de las ciudades. Por lo tanto, los nuevos pavimentos, tales como los de retención de agua y de reflejo del calor, se han ido desarrollando y utilizando de a poco como contramedidas por parte del gobierno central y local Canadiense. Se analiza por ende el efecto de las aceras con la técnica de retención de agua, así como las de escudo térmico, con respecto al efecto de islas de calor. Para este propósito se

estudió la diferencia de temperatura entre la superficie en cuestión y el aire por encima de estos nuevos pavimentos, con una base a una muestra estándar con pavimento convencional, además se realizó una prueba de carga acelerando vehículos cargados y una simulación del impacto de la reducción de la temperatura tanto de la superficie como del aire. Se revisó también un estudio de viabilidad previo acerca de la sustitución de los pavimentos en Tokio, en donde la monitorización de la temperatura mostró una reducción de hasta 16°C en la temperatura de la superficie y 1°C en la temperatura del aire; la simulación arrojó un mejor ambiente térmico para los peatones, además el estudio de viabilidad arrojó que los pavimentos con nuevas tecnologías deben ser aplicados no solo para el mejoramiento del ambiente de toda la ciudad, ya que también mejora el ambiente térmico local para los peatones, por lo cual se debe considerar su utilidad en la construcción de senderos peatonales. (International Society for Asphalt Pavements, 2006).

El trabajo de grado realizado por Santiago Trujillo Uribe de la Escuela de Ingeniería de Antioquia “Estimación de temperatura superficial en el Valle de Aburrá mediante técnicas de percepción remota” incluye el mapa “Zonas identificadas del Valle de Aburrá, 2010”, de la ciudad de Medellín donde se observan ciertos puntos de interés mencionados por el autor, el cual dice: “En todas las imágenes hay ciertas zonas puntuales que llaman la atención de manera inmediata porque ilustran de manera clara la temperatura superficial que pueden tener los diferentes tipos de cobertura”.

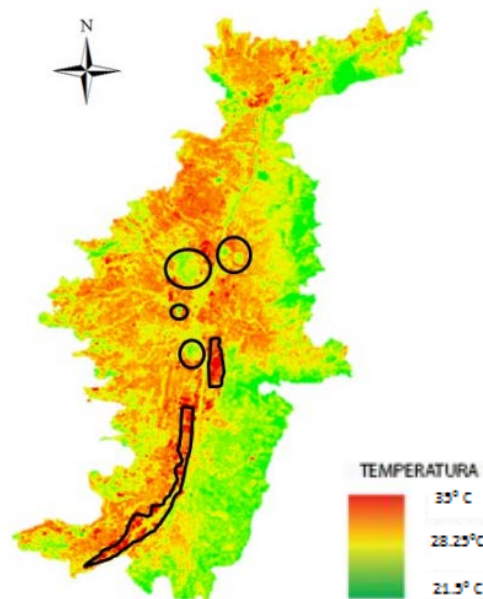


Figura 3. Zonas identificadas del valle de Aburra 2010, (Trujillo Uribe, 2012)

Así mismo, Santiago Trujillo Uribe en su trabajo de grado incluyó 5 ilustraciones en donde se muestran algunas de las zonas particulares destacadas en la Figura 1, Zonas identificadas del valle de Aburra 2010, antes citada, con la anotación de las diferentes temperaturas registradas en dichas zonas, y relacionadas a continuación:



Figura 4. Estadio Atanasio Girardot con temperatura superficial promedio de 21.8 °C (Trujillo Uribe, 2012).



Figura 5. Parque norte y Jardín Botánico de Medellín con temperatura superficial promedio de 23.2 °C (Trujillo Uribe, 2012).



Figura 6. Cerros El Volador y Nutibara con temperatura superficial promedio de 23.8 °C y 23.2 °C (Trujillo Uribe, 2012).



Figura 7. Zona industrial Barrio Colombia con temperatura superficial promedio de 34.9 °C (Trujillo Uribe, 2012).



Figura 8 Zona industrial de la autopista y el municipio de Itagüí con temperatura superficial promedio de 34.5 °C (Trujillo Uribe, 2012).

En los anteriores registros se evidencia que las zonas con temperaturas más bajas corresponden a lugares como el Estadio Atanasio Girardot, El parque Norte y el Jardín Botánico de Medellín, Cerros El Volador y Nutibara. En contraparte el autor identificó zonas con altas temperaturas como lo son la zona industrial del barrio Colombia y la zona industrial de la autopista y del municipio de Itagüí, teniéndose la sospecha de que la envolvente utilizada para transformar el entorno afecto directamente la sensación térmica en estas zonas.

En la Plaza Botero, ubicada en el centro de la ciudad, se pueden sentir 2 grados de temperatura más alta que estar en ese mismo momento en los alrededores del cerro El Volador.

Puede apreciarse que el tema en cuestión es relativamente nuevo, pues trabajos como los anteriormente mencionados son sumamente recientes, también se puede inferir que del

estado del arte se tiene ya una conciencia de que hay una relación directa entre el efecto de islas de calor y las envolventes, por lo cual es imperativo buscar alternativas para mitigar dicho efecto en el uso de envolventes más eficientes.

1.5.2 Bases conceptuales

○ Isla de calor Urbana

Muchas áreas urbanas y suburbanas experimentan temperaturas elevadas respecto a sus entornos rurales circundantes; dicha diferencia de temperatura es lo que se conoce como efecto “Isla de Calor”. La media anual de la temperatura de una ciudad con un millón o más de habitantes puede ser de entre 1 a 3°C más cálida que sus alrededores, y así mismo en una noche despejada dicha diferencia de temperatura puede ser de hasta 12° C (Voogt & Oke, 2003). Existen dos tipos predominantes de “Isla de Calor”, los cuales son “Isla de Calor” en superficie e “Isla de Calor” atmosférica.

El efecto a nivel de superficie se caracteriza por estar presente en todo momento tanto del día como de la noche, en donde su magnitud se encuentra fuertemente ligado a las estaciones, debido al cambio de intensidad solar así mismo como a cubierta y clima. A causa de esta relación generalmente el efecto en superficie es mayor durante el verano (Oke, The energetic basis of the urban heat island, 1982). Para identificar el efecto en superficie, se utilizan métodos tanto directos como indirectos, modelación numérica y estimaciones basadas en modelos empíricos, Los investigadores por lo general emplean sensores remotos como técnica indirecta, para estimar temperaturas en superficie, por lo general a través de imágenes térmicas generadas por satélite.

Por otro lado, el efecto a nivel atmosférico se evidencia al comparar la temperatura del aire de la urbe respecto a la periferia, de donde el aire será más frío en la periferia, configurando el efecto como tal. Los expertos dividen en dos el fenómeno a nivel atmosférico.

- Isla de Calor Urbana en capa dosel: es el fenómeno en la capa de aire en la cual la población vive, desde la cota rasante hasta arriba de techos y copas de árboles.
- Isla de Calor Urbana en capa de frontera: la cual inicia entre la capa dosel hasta el punto en el cual el paisaje urbano deja de tener influencia sobre la atmosfera, por lo general esta región no se extiende más de 1,5 kilómetros de la superficie (Oke, The energetic basis of the urban heat island, 1982).

El efecto de capa dosel es el de mayor incidencia en el confort de la población, así como el efecto más comúnmente observado a nivel atmosférico. El efecto de “Isla de Calor” a nivel atmosférico por lo general es débil durante la mañana y a lo largo del día, en donde se acumula energía en forma de radiación en las envolventes urbanas, viendo un efecto más

anunciado tras el poniente en donde se inicia la emisión de energía en forma de calor por parte de las envolventes.

El efecto a nivel atmosférico varía mucho menos en intensidad que el efecto a nivel de superficie, en base a una media anual, es de esperarse que el delta de temperatura entre una gran ciudad respecto a sus alrededores rurales sea de entre 1 a 3°C (Oke, Urban Climates and Global Environmental Change, 1997).

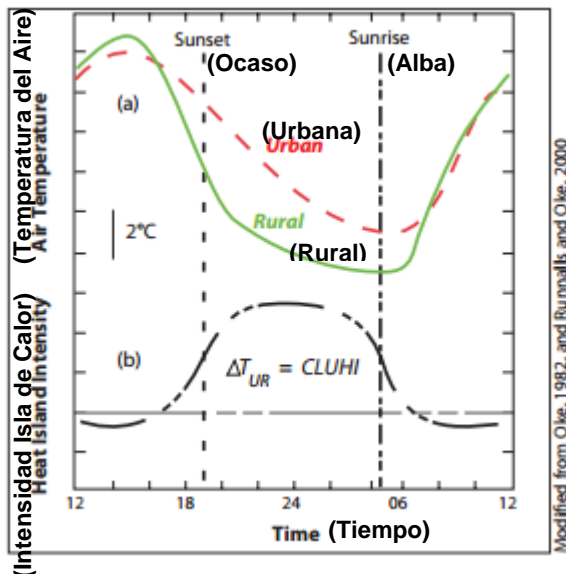


Figura 9, dibujo conceptual de la evolución de isla de calor diurna bajo condiciones tranquilas y despejadas adaptada de (US Environmental Protection Agency).

Variables climáticas que influyen en el efecto “Isla de Calor”

Se puede decir que el efecto “Isla de Calor” está fuertemente influenciado por el balance de flujos de entrada y salida de energía, en donde los parámetros de áreas urbanas difieren con sus entornos rurales más cercanos ya que las hay diferencias en cubierta de superficie, características y nivel de actividades humanas. Dichas diferencias afectan la generación y transferencia de calor, lo cual conduce a diferentes temperaturas en superficie y en el aire al comparar el entorno rural con el urbano, los parámetros con mayor influencia en dicho balance son:

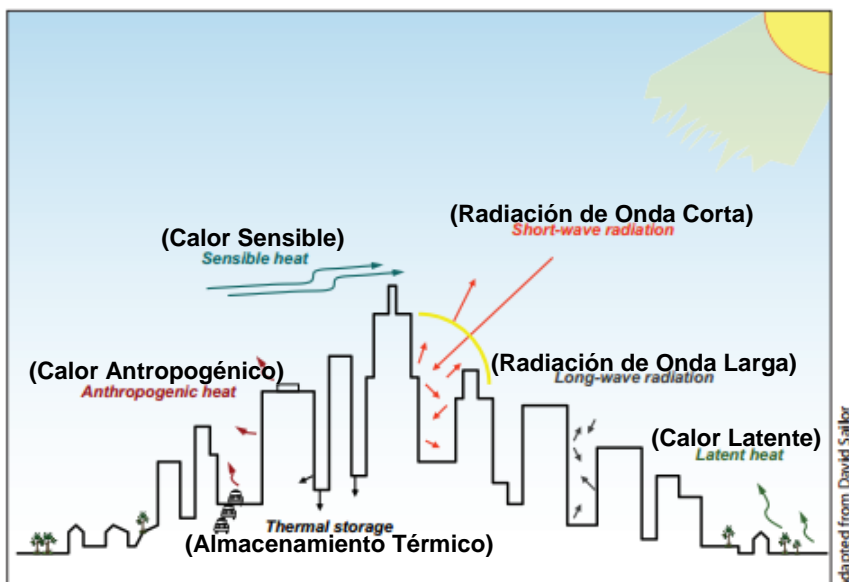


Figura 10, balance de energía en zona urbana, parámetros de influencia en el balance térmico favorables al efecto de “Isla de Calor” (US Environmental Protection Agency).

Radiación de onda corta: se refiere a la luz ultravioleta, luz visible y radiación cercana al espectro infrarrojo que son emitidas por el sol y alcanzan la tierra. Esta radiación es la forma de energía clave para el efecto “Isla de Calor”, en donde las superficies duras, comparadas con la vegetación y cubiertas de origen natural, reflejan menos de dicha radiación de vuelta a la atmosfera, por el contrario absorben y almacenan dicha energía, lo cual genera un aumento en la temperatura del área.

- Almacenamiento térmico: a causa de la baja reflectancia de las superficies urbanas, el almacenamiento térmico aumenta en las ciudades, no obstante se debe tener en cuenta que el almacenamiento térmico se encuentra estrechamente relacionado también con las propiedades térmicas de los materiales de construcción empleados, así mismo como la geometría urbana. Es de especial cuidado la geometría urbana ya que puede causar que la radiación de onda corta sea reflejada a superficies cercanas, tales como fachadas, en donde es absorbida antes de lograr escapar a la atmosfera. Se debe tener en cuenta que al momento en el cual las edificaciones u otros objetos absorben radiación de onda corta, comúnmente tiene como respuesta la emisión de dicha energía como energía de onda larga, o calor. Entonces por la densidad de la infraestructura urbana en áreas desarrolladas fácilmente se puede continuar emitiendo calor durante horas de la noche, lo cual contribuye también al efecto de “Isla de Calor”.
- La evapotranspiración es un factor relevante en el balance térmico de un lugar, en donde dicho fenómeno describe la transferencia de calor latente de forma muy acorde, a través de lo que se percibe como humedad, desde la superficie de la tierra hacia el aire vía agua en evaporación. Generalmente las áreas urbanas cuentan con un menor grado de evapotranspiración si se les compara con símiles en paisajes naturales, ya que los entornos urbanos retienen bajas humedades. Esta humedad reducida finalmente conduce a áreas secas, lo que permite que se alcancen grandes temperaturas tanto en las superficies urbanas como en el aire a su alrededor, que tiende a ascender por procesos de convección.

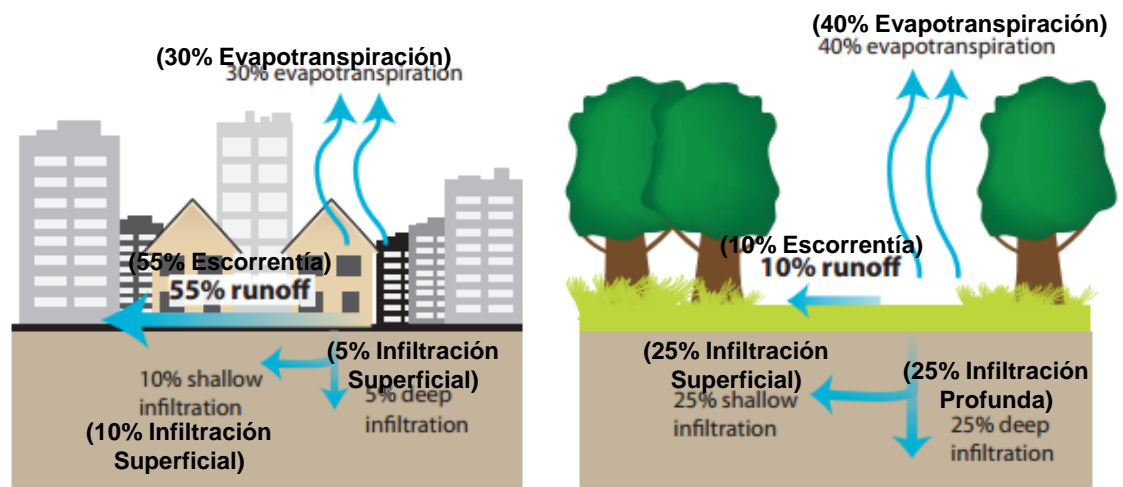


Figura 11, Evapotranspiración, escorrentía e infiltración según la superficie de recubrimiento (US Environmental Protection Agency)

- Los procesos convectivos describen la transferencia de “calor sensible”, que es lo que se siente como temperatura, entre la superficie y el aire cuando hay una diferencia de temperatura entre estos. Las altas temperaturas en superficies urbanas generan entonces un calentamiento en el aire circundante, que asciende como se mencionaba anteriormente.
- Se evidencia entonces que la temperatura de la superficie tiene una influencia, aunque indirecta, significativa en la temperatura del aire, en donde como el aire se mezcla a nivel atmosférico, se evidencia una relación que no es constante entre la temperatura del aire y la superficie, en donde la temperatura del aire varía a una tasa menor que las temperaturas superficiales en un área dada, este fenómeno es más evidente en la capa de dosel, la cual es la parte atmosférica más cercana a la superficie.

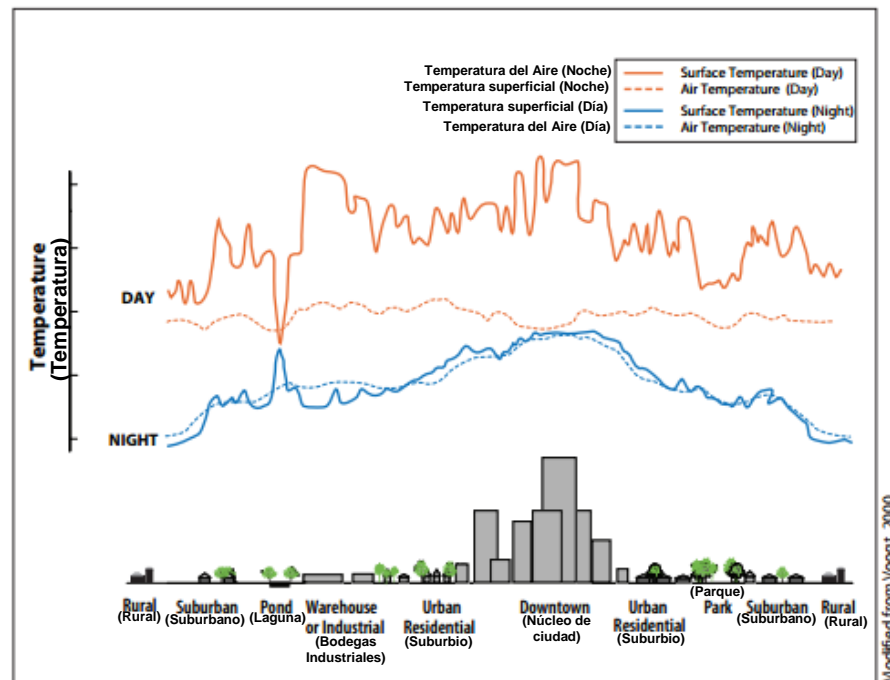


Figura 12, Variación de temperatura atmosférica y de superficie. (US Environmental Protection Agency)

- Finalmente se encuentra el calor antropogénico, el cual se refiere al calor generado por la actividad humana, tal como el uso de vehículos, aires acondicionados, instalaciones industriales que contribuyen de forma importante en el balance térmico. (US Environmental Protection Agency)

○ **Envolvente Urbana**

“La envolvente exterior (cubierta, paramentos, huecos, elementos singulares, viales de acceso, urbanización y ajardinamiento) de una construcción es la que concentra un mayor número de elementos que interactúan con el paisaje que la rodea, y en la que se puede hacer un mayor número de cambios sin necesidad de cambiar las variables básicas del proyecto (dimensiones, altura, número de plantas, volúmenes, etc.) y con un menor coste económico”. (Hernandez, Lopez-Casares, & Montero, 2013)

Esta es la envolvente de mayor interés para el análisis que se realizará, ya que el efecto de isla de calor se ve fuertemente afectado por las propiedades de los elementos externos.

Para el caso particular del Valle de Aburrá, se aplicó un procedimiento basado en técnicas de procesamiento de imagen en el primer encuentro WUDAPT (*World Urban Data bases and Access Portal Tools*), realizado en julio de 2014 en Dublin, Irlanda. El Valle de Aburrá se consideró como un caso de estudio en dicho encuentro. (Jiménez Mejía , 2016)

○ **Cubierta**

La cubierta es un elemento constructivo en una edificación que tiene el objeto de proporcionar cierto aislamiento y protección al interior de la envolvente, buscando independizar el interior del exterior de la misma, por lo general, se encuentra compuesta por una gran variedad de materiales. La cubierta en la actualidad se compone por diversas capas, cuyas funciones son de acabado y protección, aislamiento térmico, estanqueidad, y formación de pendientes. Habitualmente, estas exigencias se resuelven con materiales que tienen un alto grado de independencia y heterogeneidad entre sí con el fin de garantizar cierto grado de impermeabilización y aislamiento respecto al exterior. (Onofre Calderon, 2012)

Los principales componentes diferenciados de una cubierta son:

- Soporte
- Capas intermedias
- Superficie exterior de acabado

Además es la capa de mayor interés para el análisis, ya que además de sufrir los embates del viento, también es la encargada de recibir el calor generado a causa de la radiación solar de forma más directa.

Según Hans J. Seeger, actual presidente de la Asociación de Jardineros de Cubiertas y Tejados de Alemania, la temperatura exterior puede reducirse hasta 8 grados centígrados en áreas con cubiertas verdes conforme a los estudios realizados en Estados Unidos y Alemania. (Tobalina, 2007)

Materiales de cubierta empleados en el municipio de Medellín:

Tabla 1, Tipo de cubiertas en construcciones empleadas en el municipio de Medellín según la encuesta de calidad de vida de catastro año 2011, tomado de (Jiménez Mejía , 2016)

Código	Categoría cubiertas	Porcentaje
C0	Otros	53 %
C1	Materiales de desecho, teja asfáltica.	0 %
C3	Zinc, teja de barro, eternit rústico.	18 %
C6	Entrepiso (cubierta provisional) prefabricada.	8 %
C9	Eternit o teja de barro (cubierta sencilla).	15 %
C13	Azotea, aluminio, placas con eternit, teja de barro.	6 %
C16	Placa impermeabilizada, cubierta de lujo u ornamental.	0 %

○ Fachada

Son las separaciones laterales entre el interior y el exterior de una edificación, en donde generalmente se emplean elementos mampuestos para el levantamiento de muros en la ciudad, en donde se evidencia que el sistema constructivo tradicional no discrimina en cuanto al impacto en el efecto de isla de calor, por ende se utilizan materiales que por lo general tienen un alto índice de absorción, lo cual agrava el efecto en horas de la noche ya que se almacena una gran cantidad de energía que se disipa en forma de calor.

Materiales de fachada o armazón empleados en el municipio de Medellín:

Tabla 2, Tipo de armazones o fachadas en construcciones empleadas en el municipio de Medellín según la encuesta de calidad de vida de catastro año 2011, tomado de (Jiménez Mejía , 2016)

Código	Categoría residencial	Categoría industrial o comercial	Porcentaje
A0	madera, tapia.	-	54 %
A1	prefabricado.	-	0 %
A2	ladrillo, bloque, madera inmunizada.	-	18 %
A4	concreto hasta tres pisos.	-	10 %
A6	concreto cuatro o más pisos.	-	7 %
A8	-	Prefabricado	0 %
A12	-	ladrillo, bloque, madera inmunizada.	3 %
A22	-	Concreto	6 %

○ Pavimento

Un pavimento es una obra de infraestructura civil que al contrario de lo que se piensa no es solamente una carpeta de rodadura, más si está compuesta por una serie de capas para

garantizar que la estructura tenga un comportamiento satisfactorio ante la demanda en donde se requiere que:

- Los materiales que constituyen las diversas capas tengan unas características tales que respondan a unas exigencias mínimas de calidad.
- Las ejecuciones de calidad de las calzadas respeten los procedimientos constructivos.

Se hace especial énfasis en dicha estructura ya que esta genera un gran impacto en el efecto de isla de calor al cubrir grandes áreas.

La estructura de pavimentos se compone principalmente entonces por:

- Plataforma
- Capa de subrasante
- Capa de sub-base
- Capa de base
- Capas de imprimación y de liga
- Capa de rodadura

Es la última capa que se aplica, encontrándose expuesta a la atmosfera, como su nombre lo indica es la parte de la estructura por la cual circula el tráfico, en estructuras asfálticas pueden ser tratamientos superficiales, arena-asfalto, concretos bituminosos, lechadas y micro aglomerados en frío.

Para el efecto de islas de calor el estudio de esta capa es entonces el más relevante, esto debido a que es la capa más externa y es altamente sensible a las solicitaciones, donde es importante el conservar la resistencia mecánica, además de ser la capa de la estructura de pavimento de mayor absorción de energía térmica, por lo cual es imperativo considerar sus propiedades termofísicas.

Según Informe realizado para generar Indicador de calidad de los estratos para el Área Metropolitana de Medellín se evidencia que los materiales más utilizados para vías vehiculares estas constituidos por chamanto, asfalto, compuesto principalmente por mezclas densas en caliente o adoquín. (Lecturas de Economía N° 50, 1999)

○ **Materiales**

El concepto de material puede referirse a una porción de materia finita con características generales homogéneas, pero a su vez siendo un elemento real con dimensiones y tamaños determinados, permitiendo que sean moldeables y transformables para su mejor aprovechamiento. El hecho de tener una composición química y características físicas

determinadas, permite la adaptación de los materiales para el uso específico que se requiera, en el contexto en el que se habla sería para la ejecución de infraestructura requerida en las urbes, específicamente en la ciudad de Medellín.

Los materiales en la construcción se pueden definir entonces como cuerpos que integran las obras ejecutadas, cualquiera sea su naturaleza, composición y forma. Según la función que desempeñen dentro de la obra en cuestión se pueden clasificar como materiales fundamentales, conglomerados y complementarios.

“Los materiales fundamentales (Acero, hormigón, rocas, etc.) sirven para construir las unidades de obra capaces de soportar los esfuerzos mecánicos y las acciones atmosféricas a que va a estar sometida la construcción que se proyecta.

Los materiales conglomerantes son aquellos que constituyen la base de los morteros y concretos, empleándose en construcción para unir o enlazar materiales del grupo anterior, además de constituir los últimos, por sí solos y en combinación con el acero, un material de construcción fundamental por excelencia. Las pastas que con ellos se consiguen permiten ser extendidas y moldeadas convenientemente para adquirir, después de endurecidas, unas características mecánicas similares a las de los materiales pétreos naturales y artificiales. Los principales conglomerantes empleados en la construcción son el cemento Portland, el yeso y la cal. Los materiales complementarios o auxiliares son aquellos que se utilizan dentro de las edificaciones como complementos utilitarios de las mismas. El vidrio, pinturas, aislantes, materiales eléctricos, de fontanería, carpintería de madera, de aluminio, de PVC, entre otros.” (Universidad de Oviedo)

Los materiales en los cuales se harán énfasis en el presente trabajo serán los complementarios, ya que estos son los materiales expuestos con posibilidad de absorber la mayor cantidad de energía térmica que activa el efecto de isla de calor.

Se evidencia que en la ciudad de Medellín las bases de datos con las cuales se cuentan para efectos de clasificar materiales típicos de cubierta empleados en la construcción, ya que se tiene una gran parte de la ciudad con cubrimiento no especificado, más específicamente el 53% del área porcentualmente hablando, mientras que el resto de porcentaje remite a “mezclas de cubierta que no permiten hacer ninguna inferencia acerca de las propiedades térmicas y reflectivas de las mismas. Y en cuanto a la categoría de armazones, tampoco hay mucho que pueda servir para caracterizar las propiedades físicas de la superficie urbana.” (Jiménez Mejía , 2016)

Se encuentra como conclusión entonces que, a pesar de contar con la encuesta de calidad de vida del Valle de Aburrá como una fuente importante de información para aportar información de los materiales de construcción, “lo cierto es que a partir de estos datos es imposible inferir nada que pueda servir para propósitos de caracterización térmica de

materiales. Dicho en otras palabras, aunque la información suministrada por las entidades de catastro puede ser útil para la describir la calidad estructural y habitacional de armazones y cubiertas, es del todo inadecuada para cuantificar su respuesta térmica a la radiación solar y demás flujos de energía urbana en superficie”. (Jiménez Mejía , 2016)

- **Propiedades termo físicas de los materiales**

- **Radiación**

Según Wright, “Consiste en un transporte de energía calorífica que puede tener lugar tanto en presencia de materia como en ausencia de ésta (en el vacío). No exige, en consecuencia, la presencia de materia. Este proceso tiene carácter de *onda electromagnética térmica*; es decir, cualitativamente es una onda electromagnética (que en el vacío se propaga a la velocidad de la luz), y de manera concreta de un determinado rango de frecuencias. La emisión tiene lugar en todas direcciones y al incidir en un cuerpo éste puede actuar reflejándola, absorbiéndola (con aumento de la energía interna, incremento de la temperatura) o transmitiéndola. Se denomina *radiación térmica* a la que resulta exclusivamente de la temperatura (puede haber radiación debido a bombardeo de electrones, a descargas eléctricas, entre otras)”. (Wright, 1999)

- **Albedo**

Se le conoce al albedo como la fracción de radiación solar que es reflejada por una superficie, el término tiene sus orígenes de la palabra en latín “albus”, que significa “blanca”. Es cuantificado como la proporción, en porcentaje, de radiación solar de todas las longitudes de onda reflejadas por un cuerpo o una superficie del total que incide sobre este. Un cuerpo blanco ideal tiene un albedo del 100%, y un cuerpo negro ideal un albedo del 0%. Visualmente se puede estimar el albedo de la superficie de un objeto de su tonalidad o color. Este método sugiere que el albedo es mayor en función de la claridad del objeto a la sombra. Superficies claras como la nieve tienen altos albedos. Albedos bajos están relacionados con superficies que a simple vista son de tonalidades oscuras (Budikova, 2015).

Visto de forma más simple se puede decir que el albedo se refiere a la cantidad de energía solar que es reflejada de vuelta, en donde los objetos o materiales de color oscuro por lo general tiene albedo bajo, mientras los objetos constituidos por superficies claras tiene un albedo alto. Por lo general el albedo se mide en una escala a partir de cero hasta uno, o se puede dar también en términos porcentuales.

Se debe tener en cuenta entonces que a menor albedo más probable que un objeto almacene una mayor cantidad de energía en forma de radiación para liberarla

posteriormente en forma de energía de onda larga, o energía calórica. (Asociación nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra, 2011)

▪ **Emisividad**

La emitancia o poder emisivo (o potencia emisiva) es la cantidad total de energía radiante de todas las longitudes de onda que es emitida por un cuerpo por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se simboliza: W .

La emitancia monocromática o poder emisivo monocromático es la cantidad de energía radiante de una determinada longitud de onda λ emitida por un cuerpo por unidad de superficie y de tiempo. Se simboliza por W_λ . Si se refiere a un cuerpo negro se simboliza: $W_{n\lambda}$

La emitancia total, para todo el espectro de la radiación procedente de una superficie, es la suma de todas las radiaciones monocromáticas que salen de dicha superficie:

$$W = \int_0^{\infty} W_\lambda d\lambda$$

Desde el punto de vista físico, la emitancia total es la radiación de todas las longitudes de onda emitida por la unidad de superficie en la unidad de tiempo en todas las direcciones, que es captada por una semiesfera centrada en la superficie.

La emisividad es la relación entre la emitancia total de un cuerpo y la del cuerpo negro a la misma temperatura (T). Se simboliza por ε (Wright, 1999).

$$\varepsilon = \frac{W_\lambda}{W_{n\lambda}}$$

La emisividad es un parámetro sumamente relevante a la hora de realizar mediciones con instrumentación basada en la relación entre radiación y temperatura.

▪ **Índice de reflectividad solar (SRI)**

Éste es un indicador que incorpora la reflectancia y la emitancia en un único término que representa la temperatura de una superficial horizontal, o de baja pendiente ($< 9.5^\circ$), de un material opaco expuesto al sol. Permitiendo una comparación directa entre superficies con diferentes propiedades ópticas (albedo y emisividad). Se calcula utilizando ecuaciones basadas en datos previamente definidos y medidos de reflectancia y emitancia solar, y se expresa como un valor (0,0 a 1,0) o como porcentaje (0% a 100%). El SRI cuantifica el calor que acumularía un material en relación a una superficie patrón blanco y una negra, bajo condiciones ambientales estándar. Se define como patrón negro a un material con una reflectancia de 0.05 y una emitancia 0.90, cuyo valor es igual a 0; y el patrón blanco equivale

a 1 (o 100%), con una reflectancia 0.80 y una emitancia 0,90. Este método se utiliza para superficies con emisividades mayores a 0.01 y temperaturas superficiales menores a 150 °C. Para una superficie expuesta al sol y aislada por debajo, la temperatura superficial de equilibrio (T_s) se obtiene a partir de norma ASTM E1980. (Alchapar, Correa, & Cantón, 2012)

1.5.3 Bases teóricas

▪ “Isla de Calor” en la ciudad de Medellín

Antes de iniciar a hablar acerca del efecto de “Isla de Calor” en la ciudad de Medellín o algún otro proceso característico de atmosferas urbanas, se debe considerar antes que el carácter de este ambiente es no homogéneo, se hace entonces imperativo el clasificar distintas zonas climáticas en un territorio propiamente urbano y alrededor del mismo, siendo este un tema de momento lejos de estar resuelto, ha tenido como aporte más reciente el sistema de clasificación de Zonas Climáticas Locales (ZCL) planteado en el 2012 por Stewart y Oke. Se entiende entonces por ZCL a “una región de cobertura superficial, estructura, materiales y actividades humanas uniformes, que pueden extenderse desde centenares de metros a varios kilómetros en la escala horizontal.

El concepto de ZCL es de gran utilidad en los estudios de islas de calor, calidad del aire, hidrología y meteorología urbana, gestión ambiental, planeación del territorio, diseño de redes de monitoreo, entre otros. Desde el punto de vista formal supera ampliamente los métodos basados en la simple distinción entre lo “urbano” y lo “rural”, los cuales desconocen las gradaciones intermedias reales entre ambas categorías, en donde al contrario, inscribe el ambiente de la ciudad dentro de un contexto más amplio, al considerar clases no urbanas, o menos urbanas, en el sistema de clasificación, todas las clases urbanas del sistema ZCL se distinguen entre sí a partir de dos grupos de propiedades de la superficie,. El primero de ellos, denominado de estructura, está relacionado con la altura y espaciamiento de los edificios y arboles; el segundo remite a la cobertura, la cual puede ser vegetal, construida, pavimentada, natural, suelo denso o cuerpo de agua.” (Jiménez Mejía , 2016)

Un claro ejemplo de la importancia de realizar una clasificación acorde de zonas climáticas en zonas urbanas, se evidencia en el siguiente caso: “a pesar de estar ubicados a menos de dos kilómetros de distancia, entre el Museo de Antioquia y el núcleo El Volador de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín se pueden registrar diferencias de temperatura de más de 2 grados centígrados en promedio un día cualquiera. Los alrededores de esos dos lugares son bien distintos: el museo está ubicado en el centro de la ciudad y rodeado por vías de alto tráfico, mientras que el segundo está junto al cerro El Volador, el parque natural más grande dentro del área urbana de Medellín” (Universidad Nacional de Colombia, 2015).

Se debe tener en cuenta que el concepto de las ZCL es aplicable con facilidad a terrenos planos, no obstante es sabido que el Valle de Aburrá se caracteriza por una topografía accidentada, por lo cual se debe tener especial cuidado a la hora de emplear estas metodología, puede ser entonces más adecuado para ver ciudades con la topografía accidentada como es el caso, la clasificación de sitios urbanos en función de su ubicación en el paisaje, siendo una herramienta valiosa la identificación basada en Wanner y Filliger (1989), donde se identifican algunos tipos básicos de áreas urbanas según la extensión relativa entre la ciudad y el elemento orográfico con el cual se compara.

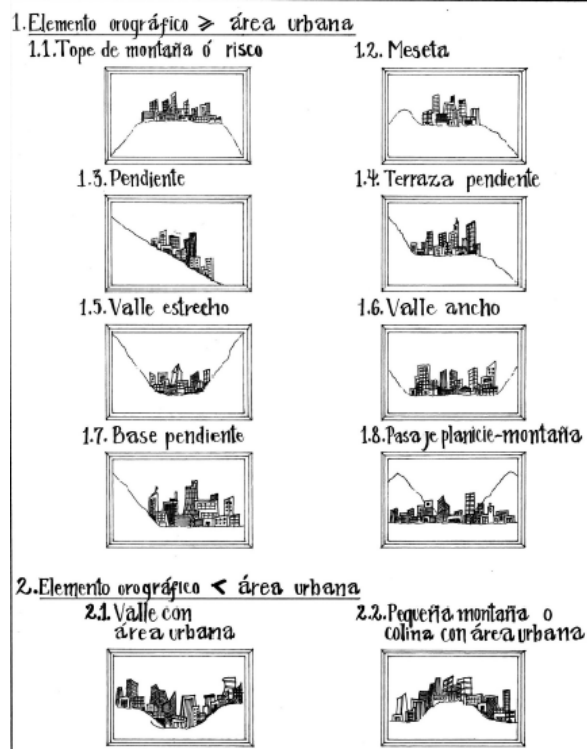


Figura 13, Clasificación de sitios urbanos en terrenos complejos basado en Wanner y Filliger, tomado de (Jiménez Mejía , 2016)

Considerando esto, es evidente que el factor topográfico es sumamente determinante en el clima, llegando al punto en el cual se dé el caso en que dos zonas relativamente vecinas, en una ciudad de montaña con patrones urbanísticos similares presentan discrepancias importantes en cuanto a condiciones climáticas, solo es explicable al momento de considerar su localización en un contexto geográfico de terreno complejo.

En territorios de orografía compleja, se debe considerar también cierto grado de discrepancia de la radiación total incidente respecto a una superficie plana o a nivel, debido a bloqueos o intercepciones del relieve, al redireccionamiento por reflexiones en la

superficie y a la orientación misma del terreno, en donde la radiación total en un sitio montañoso puede ser hasta 30% menor la correspondiente si el terreno fuese plano (Ruiz-Arias, Pozo-Vázquez, Lara-Fanego, Santos-Alamillos, & Tovar-Pescador, 2011).

Se evidencia entonces la complejidad en cuanto al abordar el tema de “islas de calor” en la ciudad de Medellín, en donde un estudio del comportamiento urbano de las variables en superficie ayudará a entender su relación con los patrones de comportamiento de los contaminantes y con las islas de calor.

“Stewart y Oke (2012) plantearon varios usos posibles de las ZCL relacionados con el planteamiento urbano, la gestión ambiental en las ciudades, la arquitectura y el modelamiento atmosférico, entre otros. Pero dejaron en claro que este concepto y el sistema de clasificación por ellos desarrollado es más apto, por no decir más directamente aplicable, cuando se trata de ciudades sobre terrenos planos. En el caso de ciudades de montaña, la consideración de la orografía en la formulación y desarrollo de sistemas de zonificación local basada en el concepto de climatopos es fundamental, y deberíamos esperar de dichos sistemas idénticas aplicaciones. La caracterización de las islas de calor y la construcción de criterios con sentido físico para la ubicación de estaciones meteorológicas urbanas o de calidad del aire, son solo algunos ejemplos concretos de la utilidad de estos estudios.” (Jiménez Mejía , 2016)

▪ **Comportamiento térmico de los materiales para el efecto “Isla de Calor”**

Los materiales empleados en la construcción de envolventes urbanas tiene como uno de sus objetivos el aislar un espacio dado de las condiciones externas del ambiente, tales como la lluvia, el viento, la radiación solar, entre otras. Se debe considerar además que la envolvente tiene como fin brindar el mayor confort posible al usuario del espacio como tal, es importante entonces considerar algunas propiedades térmicas de estos materiales para saber el impacto del uso o preferencia de algún material sobre otro, además la decisión al momento de usar materiales en una edificación puede tener un gran impacto en el desempeño térmico y energético de la construcción, esto se debe a que no todos los materiales son iguales, y no todos los materiales tienen el mismo comportamiento ante diferentes condiciones ambientales.

Entonces conocer con cierto detalle las propiedades termofísicas de los materiales empleados en una edificación es imprescindible para tomar decisiones de diseño adecuadas (Soluciones arquitectónicas sustentables, 2015), en donde las de mayor importancia para el fin serían:

Calor específico: Se define como la energía necesaria para elevar la temperatura de un gramo de un material en 1°C. (Askeland & Phulé, 2004)

Capacidad térmica: representa básicamente la cantidad de energía en forma de calor que puede almacenar una capa de un material dado, para determinar este valor se debe tener en cuenta la geometría del material, así como la densidad del mismo y su calor específico, siendo su cálculo relativamente sencillo al multiplicar la densidad por el espesor del material, y posteriormente por su calor específico, obteniendo resultados en términos de unidades de energía sobre unidad de área grado centígrado, generalmente $[J/m^2^{\circ}C]$. (Soluciones arquitectónicas sustentables, 2015)

Conductividad y resistividad: la conductividad se refiere a la capacidad de un material para conducir calor a través de la estructura interna del mismo, además puede ser empleado como el flujo de calor que atraviesa un material de caras paralelas al plano de espesor, tiempo y diferencia de temperaturas entre sus caras unitarias. La resistividad por otro lado es de forma simple el inverso de la conductividad, o la oposición del material a la transferencia de calor a través de su estructura interna. (Young & Freedman, 2009)

Conductancia y resistencia: tal como la capacidad térmica, es la aplicación de los principios de conductividad y resistividad a una capa de material cuya geometría y densidad se conocen.

Se deben buscar entonces incluir en el diseño la mayor cantidad de materiales fríos posible, los cuales se caracterizan por:

- Alta reflectancia solar: la reflectancia solar o albedo, donde se mide la capacidad de un material de reflejar la radiación solar incidente, considerando la reflectancia hemisférica de la radiación integrada en el espectro solar; incluyendo reflexión especular y difusa. Es medida en una escala de 0 a 1 (o 0-100%) como se mencionó anteriormente. Esta propiedad es de suma importancia ya que gran parte de la energía que llega en forma de radiación de onda corta para transformarse en calor depende de este parámetro, en donde para un día soleado de verano la distribución de energía a través de radiación de onda corta seguiría una distribución como la bosquejada en la Figura 13, donde la abscisa representa la longitud de onda correspondiente mientras la ordenada representa la intensidad solar normalizada.

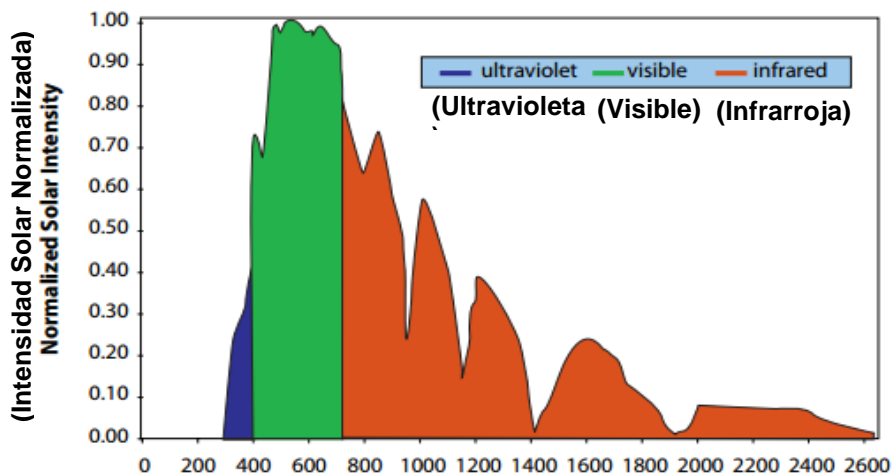


Figura 14, Energía solar versus alcance de longitud de onda incidente en la superficie de la tierra (US Environmental Protection Agency).

Si un material frío se aplica en una envolvente edilicia, esto se traduce en una disminución de las cargas de calor que penetran hacia el interior del edificio y al entorno urbano. Por lo tanto, éstos materiales contribuyen con la reducción de la temperatura ambiente, ya que la intensidad convectiva de calor desde una superficie más fría es más baja. En el gráfico se indican los principios básicos de comportamiento térmico de un material frío. (Alchapar, Correa, & Cantón, 2012)

▪ Bases Legales

A. Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana (según el Ministerio de Ambiente)

Como primera aproximación a regular el uso de materiales en la construcción de edificaciones el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible plantea el texto “Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana” en el 2012 en donde se hace especial énfasis en los siguientes rubros:

- Arquitectura ecológica: considera un balance adecuado entre las construcciones en el entorno natural, buscando que su emplazamiento genere el menor impacto negativo posible permitiendo una coexistencia armónica de la construcción, el entorno y el hombre. “Esta arquitectura tiene 10 principios básicos:
 - *Valorar el sitio y las necesidades constructivas*
 - *Proyectar la obra de acuerdo al clima local*”
 - *Ahorrar energía*
 - *Pensar en fuentes de energía renovables*
 - *Ahorrar agua*
 - *Construir edificaciones de mayor calidad*
 - *Evitar riesgos para la salud*
 - *Utilizar materiales obtenidos de materias primas generadas localmente*
 - *Utilizar materiales reciclables*
 - *Gestionar ecológicamente los desechos*” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012)
- Arquitectura Bioclimática: es el ítem de mayor relevancia para el trabajo en cuestión, ya que en esencia plantea el generar espacios con óptimas condiciones de bienestar y confort, en donde se incorporan determinantes en el diseño que permitan la interrelación de variables climáticas para lograrlo.

B. Reglamento Colombiano de Construcción Sostenible

El 10 de julio de 2015 se presentó el Reglamento Colombiano de Construcción Sostenible, el cual busca que la renovación urbana este en sintonía con el medio ambiente. La normativa establece parámetros y lineamientos técnicos relacionados con el uso eficiente

del agua y la energía en nuevas edificaciones, siendo sus principales objetivos los siguientes:

- Lograr un ahorro en los recursos hídricos y energéticos de las obras hasta un 45%, gracias a las buenas prácticas de diseño y construcción.
- Mitigar el impacto del cambio climático.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector de la construcción.
- Impactar de forma positiva la economía de las personas.

La normatividad se desarrolló por el Ministro de Vivienda, Ciudad y Territorio, la Corporación Financiera Internacional (IFC) del Grupo Banco Mundial apoyado por la Embajada de Suiza y la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (ARGOS, 2015)

2. METODOLOGÍA Y RESULTADOS OBTENIDOS

2.1 IDENTIFICACIÓN DE ENVOLVENTES URBANAS TÍPICAS

Como se mencionó en el capítulo 1.5.2 bases conceptuales, específicamente en los títulos de Cubierta, Fachada y Pavimento, los datos con los cuales se cuentan de la encuesta de calidad de vida realizada el 2011, acerca de materiales de construcción empleados en la ciudad de Medellín no son suficientes para conocer el comportamiento a nivel térmico de la envolvente. No obstante con los datos obtenidos de las tablas *Tabla 1* y *Tabla 2* presente en los apartados Cubierta y Fachada en el capítulo 1.5.2 bases conceptuales, es posible tener un primer criterio de selección de materiales típicos empleados, además de realizar una identificación por medio de observación al realizar recorridos de la ciudad de diferentes tipos de usos de edificaciones y materiales típicos empleados en el medio, separándolos en materiales de cubierta, fachada y pavimento.

Lo anterior se infiere de la observación de la tipología de envolventes típicas empleadas en la ciudad, lo cual se puede evidenciar en las siguientes figuras.



Figura 15, Fachada casa ubicada en zona cola del zorro (Villa Verde)



Figura 16, Materiales típicos empleados en envolvente sector cola del zorro



Figura 17, Fachada sector escobero, parte baja



Figura 18, Fachada típica sector balsos con Av inferior



Figura 19, Fachada típica sector las cometas



Figura 20, Vista materiales de envoltentes típicas, sector Suramericana



Figura 22, Materiales típicos barro Fátima



Figura 21, Fachada típica sector laureles Av. Jardín



Figura 25, Fachada típica sector balsos 1



Figura 24, fachada típica zona Padre Marianito



Figura 23, Fachada típica balsos sector ISA

2.2 MATERIALES A EVALUAR

Con lo visto en la sección anterior, los materiales a evaluar buscan representar el grueso del uso de materiales de la ciudad de Medellín en zonas urbanas, por lo cual se tuvo este criterio como primero de elección, como segundo criterio se evalúa la posibilidad de un comportamiento térmico que incida de forma positiva en la mitigación del efecto de isla de calor para los materiales alternativos.

Es por esto que los materiales que se evaluarán responden a los materiales típicos empleados y encontrados en el medio, así mismo como materiales que se sospecha pueden ser alternativas interesantes para mitigar el efecto isla de calor. Los materiales seleccionados responden a la consideración de las envolventes típicas observadas en el capítulo anterior, además, los materiales alternativos responden a la disponibilidad encontrada en el mercado. Los materiales finalmente seleccionados para el ensayo en este rubro son:

Tabla 3, Muestras de materiales de fachada evaluados

Material	Imagen	Descripción	Propiedades térmicas de los materiales
Ladrillo catalán oscuro		Material de construcción, empleado por lo general en fachadas, compuesto cerámico de tonalidad oscura que está configurado, se considerara también como cubierta como símil de teja de barro	Valor λ [W/m*K]: 0.80 Absortancia $[\alpha]$: 0.88 Reflectancia $[\rho]$: 0.12 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93
Ladrillo catalán claro		Material de construcción, empleado por lo general en fachadas, compuesto cerámico de tonalidad clara	Valor λ [W/m*K]: 0.80 Absortancia $[\alpha]$: 0.70 Reflectancia $[\rho]$: 0.30 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93
Bloque		Material de construcción empleado en fachadas y como sistema estructural.	Valor λ [W/m*K]: 1.40 Absortancia $[\alpha]$: 0.65 Reflectancia $[\rho]$: 0.35 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.92




Bloque de cemento pintado de color blanco		Es un bloque cuya diferencia es básicamente un recubrimiento con una capa de pintura que puede alterar las propiedades ópticas y térmicas del material.	Valor λ [W/m*K]: 1.40 Absortancia $[\alpha]$: 0.25 Reflectancia $[\rho]$: 0.75 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93
---	---	---	---

Tabla 4, Muestras de materiales de cubierta evaluados

Material	Imagen	Descripción	Propiedades térmicas de los materiales
Teja roja marca Onduville		Teja popular por ser de bajo costo, tener un buen desempeño en cuanto impermeabilización y gran ligereza.	Valor λ [W/m*K]: 0.30 Absortancia $[\alpha]$: 0.90 Reflectancia $[\rho]$: 0.10 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.96
Teja roja marca Viplast		Cubierta elaborada con polipropileno recuperado de procesos post industriales, con formación de filtro UV y acabado mate, se caracteriza por ser una teja termo acústica.	Valor λ [W/m*K]: 0.22 Absortancia $[\alpha]$: 0.82 Reflectancia $[\rho]$: 0.18 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.94
Teja metálica recubierta en gravilla color verde		Cubierta elaborada con acero, posteriormente gravillada, que ofrece una alta calidad, durabilidad, estética y ligereza como sus mayores atributos, no obstante al ser gravillada se debe comportar térmicamente de forma similar a un asfalto.	Valor λ [W/m*K]: 47 Absortancia $[\alpha]$: 0.90 Reflectancia $[\rho]$: 0.10 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.96
Teja Eternit		Cubierta elaborada en compuesto asbesto-cemento, a pesar de lo nocivo de los componentes de esta teja es popular por su buena impermeabilización y su bajo costo.	Valor λ [W/m*K]: 0.18 Absortancia $[\alpha]$: 0.70 Reflectancia $[\rho]$: 0.30 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.96








Teja con aislamiento de poliuretano		Cubierta elaborada en metal con capa aislante de poliuretano, está configurada en tipo <i>sándwich</i> , lo cual permite brindar seguridad extra ante filtraciones o desviaciones en su instalación, facilitando la misma	Valor λ [W/m*K]: 0.025 Absortancia $[\alpha]$: 0.25 Reflectancia $[\rho]$: 0.75 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.94
Teja UPVC con aislante de fibra de carbono		Cubierta en donde su capas superficiales son elaboradas con UPVC, mientras la capa intermedia se encuentra compuesta por un polímero alto de fibra de carbono, lo cual le brinda comportamiento termo acústico como su principal característica	Valor λ [W/m*K]: 290 Absortancia $[\alpha]$: 0.80 Reflectancia $[\rho]$: 0.20 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.94
Teja metálica con recubrimiento blanco		Cubierta en forma de teja metálica simplemente recubierta con una capa de pintura blanca como agente de cambio de propiedades térmicas y ópticas.	Valor λ [W/m*K]: 47 Absortancia $[\alpha]$: 0.15 Reflectancia $[\rho]$: 0.85 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.95
Teja standing seam FV ATAC N°4 38 mm (con aislante en fibra de vidrio)		Cubierta tipo <i>sándwich</i> , donde las capas exteriores están compuestas de placas metálicas recubiertas por pintura blanca, mientras la capa intermedia está compuesta por fibra de vidrio, cuyo espesor se encuentra definido por el calibre, en este caso cuenta con espesor de 38 mm, como característica principal destaca su comportamiento termo acústico.	Valor λ [W/m*K]: 0.03 Absortancia $[\alpha]$: 0.25 Reflectancia $[\rho]$: 0.75 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93

Tabla 5, Muestras de pavimento evaluadas.

Material	Imagen	Descripción	Propiedades térmicas de los materiales
Pavimento mezcla densa en caliente tipo MDC-3 color café		Concreto asfáltico que constituye la carpeta de rodadura de una vía compuesta por una granulometría que permite la obtención de mezclas densas, permitiendo un alto módulo de resiliencia.	Valor λ [W/m*K]: 0.76 Absortancia $[\alpha]$: 0.88 Reflectancia $[\rho]$: 0.13 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93
Pavimento mezcla densa en caliente tipo MDC-3 color rojo		Comparte las características del ítem anteriormente descrito, solo se presenta variación en el color	Valor λ [W/m*K]: 0.76 Absortancia $[\alpha]$: 0.88 Reflectancia $[\rho]$: 0.13 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93
Pavimento microaglomerado en caliente tipo F1		Concreto asfáltico que como característica principal tiene su función, ya que es un compuesto fino pensado para optimizar las funciones estructurales y superficiales, siendo esta mezcla una especie de piel exterior que mejore el desempeño de la interacción entre la estructura y el neumático del vehículo usuario.	Valor λ [W/m*K]: 0.76 Absortancia $[\alpha]$: 0.94 Reflectancia $[\rho]$: 0.06 Emisividad $[\varepsilon]$: 0.93

2.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS

2.3.1 Variables de la investigación

En la Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia se cuenta con una estación meteorológica que permite registrar datos relevantes de condiciones ambientales que se presentaran a continuación, así mismo se cuenta con equipos que permiten registrar la temperatura de materiales en intemperie de forma acorde, conociendo esto es posible entonces ajustar el experimento a parámetros medibles con los recursos y espacio temporal con los cuales se cuentan. Como parámetros relevantes y medibles al experimento se tiene entonces dos categorías que son:

- Condiciones ambientales: son aquellas condiciones que se definirán como independientes al material, además de ser parámetros que aportan al balance energético y térmico del ambiente circundante a las muestras empleadas en el experimento a ejecutar, las variables consideradas entonces son:
 - Índice de calor [$^{\circ}\text{C}$]: Se conoce como un índice que relaciona la temperatura ambiente con la humedad relativa para determinar la percepción del aire en el ambiente, se genera una relación directa entonces entre la temperatura aparente y el nivel de humedad del ambiente, ya que la tasa de evaporación para enfriar un cuerpo dado fluctúa directamente en función de la humedad del ambiente.
 - Radiación solar [Watt/m^2]: Se conoce como la cantidad de radiación solar incidente en un área determinada, se puede considerar entonces como la intensidad de la radiación sobre una superficie horizontal, se debe tener en cuenta que además de la radiación directa del sol también se considera una radiación incidente reflejada del cielo (atmosfera).
 - Energía solar [Langley¹]: Es la cantidad de energía proveniente del sol en forma de radiación acumulada en un periodo de tiempo dado.
- Condiciones de material: para efecto de impacto en el efecto de isla de calor se medirá el comportamiento térmico de los materiales anteriormente definidos, haciendo especial énfasis en la temperatura superficial de los mismos.

Conociendo las variables se puede decir que la naturaleza de las mismas obedece a que sean variables continuas en el tiempo, ya que pueden tomar infinitos valores al momento de realizar las mediciones en campo en cuestión, por ende se espera que los datos a obtener se ajusten a distribuciones de probabilidad continuas, se debe entonces definir un tamaño de muestra acorde que teniendo en cuenta el espacio temporal disponible, así como

¹ 1 Langley es una unidad que corresponde a 11.622 Watts/hora/ m^2 o a 41.84 KJoules/ m^2 (Davis Instruments, 2016)

la disponibilidad de los equipos permita generar datos estadísticamente aceptables para tratar.

Se tomó un margen de error del 12.5% y un nivel de confianza del 90%, estos valores se tomaron considerando que el tamaño del universo para el estudio en cuestión es infinito, y al existir la limitación de tiempo se considera como el error tolerable aceptado en la investigación actual, además se consideran dichos valores de forma conservadora ya que se evaluara el tamaño de muestra se considera una probabilidad de ocurrencia del 50%, teniendo en cuenta que se sospecha que las distribuciones de comportamiento térmico responderán a las características de una normal, en donde los datos se agruparan en un intervalo dado a 3 desviaciones estándar de la media, resultados que se han obtenido en estudios como los de (Alchapar, Correa, & Cantón, 2012), entonces la probabilidad de ocurrencia tendrá un valor mayor, según el comportamiento de una distribución normal sería un valor de $p=0.975$, lo cual al momento de ajustar los datos se tenga un coeficiente de confianza más alto, así como un margen de error menor respecto a los aceptados inicialmente.

Conociendo esto se debe mencionar la relación de estos valores con el tamaño de la muestra a emplear. Es de suma importancia acotar que el promedio de una muestra al azar tiende a estar cerca al comportamiento de la total del universo, además, el teorema del límite central demuestra que en condiciones generales el comportamiento en suma de variables aleatorias independientes se aproximan de buena forma a una distribución de probabilidad normal.

Conociendo la tendencia de este comportamiento se puede evaluar entonces el tamaño de muestra requerido para satisfacer los supuestos inicialmente planteados mediante la siguiente expresión:

$$\eta = \frac{Z^2 p(1 - p)}{e^2}$$

Donde:

$\eta \rightarrow$ tamaño de la muestra requerido

$Z \rightarrow$ desviación del valor medio aceptada proveniente de la distribución normal, hay valores determinados, para el caso de un nivel de confianza del 90% Z toma el valor de 1.645

$p \rightarrow$ proporción o la probabilidad de ocurrencia que se espera encontrar, al no conocer aún esta tendencia se opta por un valor conservador de 0.5, el cual permite que el valor a pronosticar se aproxime tanto a ser como a no ser.

$e \rightarrow$ el margen de error máximo permitido

Entonces el tamaño de la muestra requerido es:

$$\frac{1.645^2 \cdot 0.5 \cdot (1 - 0.5)}{0.125^2} \approx 43 \text{ muestras}$$

2.3.2 Parámetros de medición

Las variables a medir se registrarán por los siguientes parámetros o condiciones de entrada requeridos para obtener datos de calidad que permitan un trabajo adecuado.

Se orientaran los montajes experimentales ejecutados ubicando el montaje principal; el cual consta de materiales de fachada, cubiertas y pavimentos en dirección horizontal paralelo a la superficie en la cual se dispondrá a nivel de rasante; además los montajes que contienen material de fachada se dispondrán en dirección oriente y occidente, orientaciones de mayor incidencia debido al movimiento del sol a lo largo del día, en sentido normal a la superficie de disposición, en este caso también rasante, esto con el fin de ver el comportamiento en función de la dirección de orientación de las muestras en cuestión.

Se debe tener en cuenta que se va a trabajar con un método de tomas de temperaturas de forma indirecta a través de radiación infrarroja, por lo anterior se requieren los valores de emisividad a emplear para fines de medición, por lo cual se empleara como base los valores típicos propuestos por la empresa Fluke para este fin, también se tomara como base valores típicos que se encuentren en el texto Aislamiento acústico y térmico en la construcción del autor C. Rougeron, al no contar con valores exactos para el grueso de los materiales a analizar se adaptaran los valores de emisividad en base a lo anterior.

Tabla 6, valores de emisividad a emplear en el estudio, adaptado de (Fluke, 2013) y (Rougeron, 1977)

Material	Emisividad [ε]
Teja roja marca Onduville	0.96
Teja Roja de polipropileno Viplast	0.94
Teja metálica verde gravillada	0.96
Teja asbesto-cemento Eternit	0.96
Teja con aislante de Poliuretano	0.94
Teja aislante UPVC con fibra de carbono	0.94
Teja metálica con recubrimiento blanco	0.95
Teja con aislante en fibra de vidrio Standing Seam FV ATAC N°4 38mm	0.93
Ladrillo catalán oscuro	0.93
Ladrillo catalán claro	0.93

Bloque de concreto	0.92
Bloque de concreto recubierto en pintura blanca	0.93
Pavimento color café tipo F	0.93
Pavimento color rojo tipo F	0.93
Pavimento mezcla densa en caliente	0.93
Gramma	0.98

2.3.3 Técnicas e instrumentos para recolectar información

La escuela de ingeniería de Antioquia cuenta con instrumentación para la toma de temperaturas del ambiente, radiación solar incidente, velocidad del viento y pluviosidad *in situ* con ayuda de una estación meteorológica ubicada dentro de las instalaciones de la institución, en donde los equipos instalados en campo constan de la estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 Plus, la cual cuenta con un conjunto integrado de sensores con colector de lluvia, sensores de temperatura y humedad, anemómetro, sensor de radiación solar y sensor de radiación UV, sensores que se encuentran programados para registrar datos en intervalos de 5 minutos de forma inalámbrica a una consola central, la cual recibe la información a través de un *data logger* que permite conectarla directamente a un computador, y empleando el software *weatherlink v 5.9.3* permite realizar un monitoreo con capacidades mejoradas, en donde se pueden preservar de forma continua los datos obtenidos, generando a su vez una base de datos de los registros generados por los sensores, los parámetros a medir, que son índice de calor y radiación solar cuentan con la siguiente precisión respectivamente: $[\pm 1^{\circ} \text{C}]$ y $[\pm 5\%]$.



Figura 26, Estación meteorológica Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia



Figura 27, Estación meteorológica Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia, estructura completa

Además para la toma de temperaturas superficiales de las muestras del experimento físico en cuestión, se emplea una cámara termografía marca *Fluke*, referencia Ti100, la cual trabaja basándose en el principio de que todos los objetos irradian energía infrarroja. Entonces según el fabricante la cantidad de energía irradiada depende de la temperatura real de la superficie y la emisividad del objeto, la cámara detecta la energía infrarroja de la superficie del objeto y utiliza estos datos para hacer una estimación de la temperatura. Muchos materiales y objetos comunes tales como el metal pintado, la madera, el agua, la piel y la tela son muy eficientes para irradiar energía por lo cual se pueden tener mediciones relativamente exactas. (Fluke, 2012)

La cámara empleada en cuestión emplea un sistema de enfoque libre con amplia profundidad de campo, en donde para que los datos sean acordes a la realidad se debe enfocar a una distancia mínima de 122 cm o más sin realizar ajustes, respetar esta pauta para enfocar las muestras es de suma importancia ya que con esto se garantiza que la energía infrarroja se dirija de forma adecuada a los *pixeles* del detector, en caso contrario pueden obtenerse imágenes térmicas borrosas y los resultados radiométricos serán inexactos, el rango de temperatura de funcionamiento de la cámara calibrada oscila entre -10°C a 250°C, cuenta con una exactitud de $\pm 2^\circ\text{C}$ s temperatura ambiente de 25 °C y genera archivos radiométricos en formato “.is2”.



Figura 28, Cámara termografía FLUKE Ti100 empleada, datos de fabricación y de firmware.

Las imágenes obtenidas por medio de la cámara termografía se respaldaran y en caso de ser necesario se procesaran y analizaran en el software *SmartView* que permite realizar

cambios en parámetros tales como emisividad del material objetivo, además se entregará el material digital como anexo en pro de ser material de utilidad a trabajos futuros.

2.4 DISEÑO Y EJECUCIÓN DE EXPERIMENTO

2.4.1 Planteamiento caso de estudio

○ Diseño de caso experimental

Se hace especial énfasis en el caso experimental, en donde se procederá a realizar el diseño y ejecución de un experimento físico que permita medir las variaciones de temperatura en capa límite de varios materiales comúnmente utilizados en el sector de la construcción en la ciudad de Medellín dentro de un ambiente controlado; en el cual se conozcan en todo momento las variables independientes que se esperan tener en cuenta, las cuales se enunciarán más adelante; con el fin de generar información que sirva de criterio para recomendar envolventes urbanas a emplear según las necesidades particulares tanto del cliente que desee construir como a las instituciones y Autoridades Ambientales.

El experimento físico, entonces, que se pretende realizar, consta básicamente en la construcción de tres placas aislantes con un área total de $1m^2$ por unidad, en donde una de estas placas estará dispuesta en posición horizontal conteniendo cuatro muestras de cada uno de los grupos de materiales más representativos en el porcentaje de cubrimiento del suelo, pudiéndose identificar entonces pavimentos, cubiertas y fachadas.

Para cada uno de estos grupos se dispondrán dos muestras de materiales típicos empleados actualmente, en donde las otras dos muestras que se dispondrán tendrán propiedades termofísicas tales como reflectancia y emisividad favorables a la mitigación del efecto “Isla de Calor”.

Las otras dos placas aislantes se dispondrán con doce muestras de fachada en posición vertical, de donde la mitad se realizará con materiales típicos empleados mientras la otra mitad al igual que la placa dispuesta horizontalmente se dispondrá con materiales de fachada que se sospeche tengan potencial de mitigación del efecto.

Al contar con placas aislantes de área 1m^2 se generaran entonces muestras en forma de cuadrado con sección aproximada de $0,2\text{m} \times 0,2\text{m}$ aisladas entre sí. Tras el montaje de las placas se procederán a ubicar cerca a la estación que cuenta con radiómetro ubicada en la

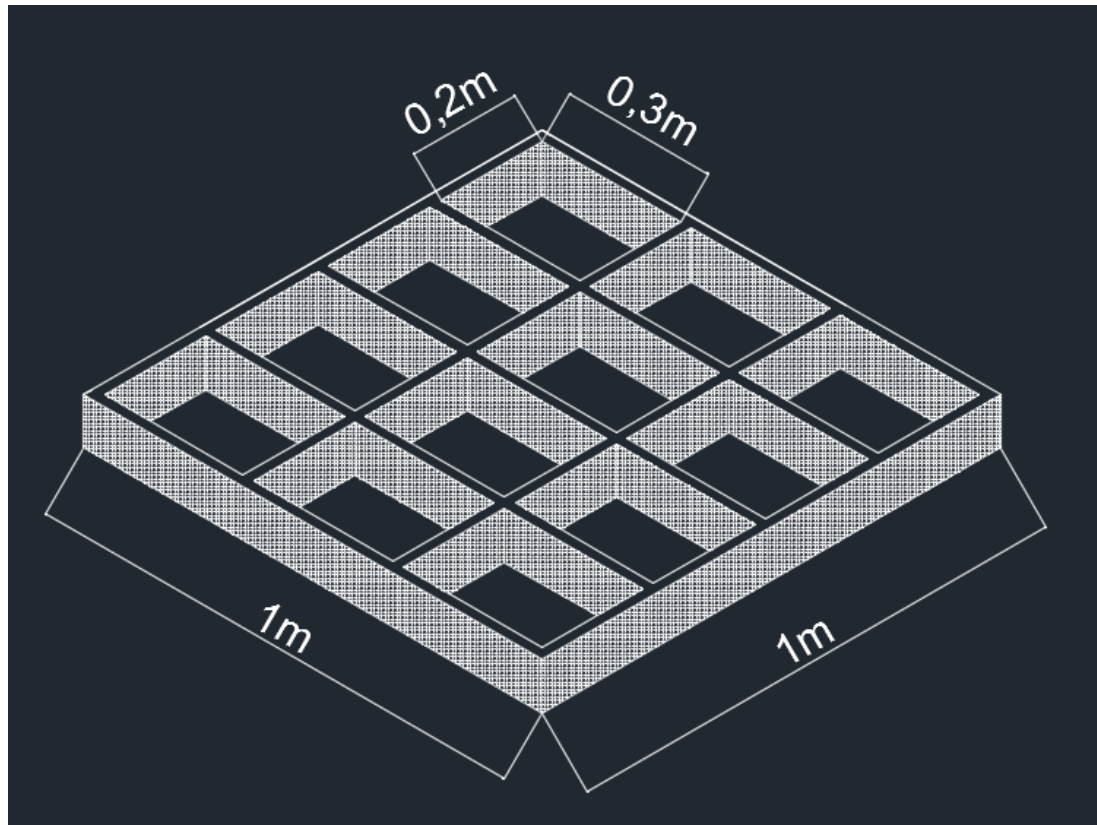


Figura 29, bosquejo de placa a construir.

Universidad EIA, con el fin de conocer en todo momento la radiación bajo la cual están influenciados los materiales durante la toma de temperaturas.

Se debe definir entonces la orientación de cada una de las placas, en donde se buscó que la placa horizontal reciba la mayor incidencia solar a lo largo de todo el día. Mientras, las placas verticales se dispondrán de forma tal que una reciba toda la carga de radiación durante el naciente y las horas de la mañana, la otra lo haciendo lo correspondiente en horas de la tarde y poniente.

Finalmente se espera recolectar la información de las variables independientes tales como radiación y dosis UV, humedad, velocidad del viento, entre otras con la ayuda de la estación bajo la cual se ubicara el montaje descrito anteriormente. Habiendo entonces dos opciones para la toma de la variable dependiente, en este caso, la temperatura en la capa límite de cada uno de los materiales a evaluar.

Se debe tener en cuenta que para efectos de realizar una comparación acorde del comportamiento de los diferentes materiales, se toman las mediciones con cierto grado de heterogeneidad en cuanto a escala temporal. Esto con el fin de contrastar de forma acorde la información obtenida, así mismo es imperativo tener en cuenta que las horas de mayor relevancia son a mediados de la mañana, a medio día y finalmente a mediados de la tarde.

○ **Ejecución de experimento**

El caso experimental finalmente planteado consiste en una placa horizontal de área igual a $1m^2$ elaborada con una base en material tipo MDF, en donde tras la consecución de las muestras de los materiales en cuestión, se tomó la decisión de disponer 16 materiales distribuidos a lo largo de la placa; en donde se emplea un recubrimiento de poliestireno expandido, ya que dicho material cuenta con la facilidad de moldearse para diferentes aplicaciones, además de contar con un coeficiente de conductividad térmica realmente bajo como se evidencia en la Tabla 4; que permite aislar térmicamente las muestras en cuestión, evitando interacción entre las diferentes muestras que puedan afectar de forma sensible el comportamiento térmico de estas.

Tabla 7, densidad y conductividad térmica a 0 °C de aislantes de poliestireno, tomado de (Shawyer, Medina , & A.F, 2005)

Tipo	Densidad	Conductividad térmica
	(kg/m ³)	(W m ⁻¹ °C ⁻¹)/(kcal h ⁻¹ m ⁻¹ °C ⁻¹)
Espuma expandida de tipo I	10	0,057/0,049
Espuma expandida de tipo II	12	0,044/0,038
Espuma expandida de tipo III	15	0,037/0,032
Espuma expandida de tipo IV	20	0,034/0,029
Espuma expandida de tipo V	25	0,033/0,028
Espuma extruida rígida	33	0,033/0,028

Para el análisis de fachada se tuvieron en cuenta materiales típicos empleados en las envolventes urbanas en la ciudad, en donde debido a las muestras obtenidas así como a la incidencia más directa de las cubiertas en el efecto de isla de calor, se evidencia que este tipo de envolvente es predominante en el montaje realizado, habiendo entonces una diferencia respecto al diseño inicialmente planteado por el mismo motivo, en donde los materiales empleados en cuestión se describen en el título de *IDENTIFICACIÓN DE ENVOLVENTES URBANAS TÍPICAS*.

Se evidencian diferencias entre el diseño del experimento y el mismo finalmente ejecutado, esto obedece a las muestras que finalmente fue posible obtener, ya que por ejemplo para materiales de fachada en el medio no es fácil encontrar alternativas que mitiguen el efecto de isla de calor, además otro gran cambio obedece a la cantidad de materiales dispuestos en las placas dispuestas en sentido vertical, ya que se evidencia que el uso de materiales de cubierta y pavimentos no obedecen a esa disposición espacial en el medio por lo cual no es trascendente.



Figura 30, Ubicación y disposición de montaje experimental.

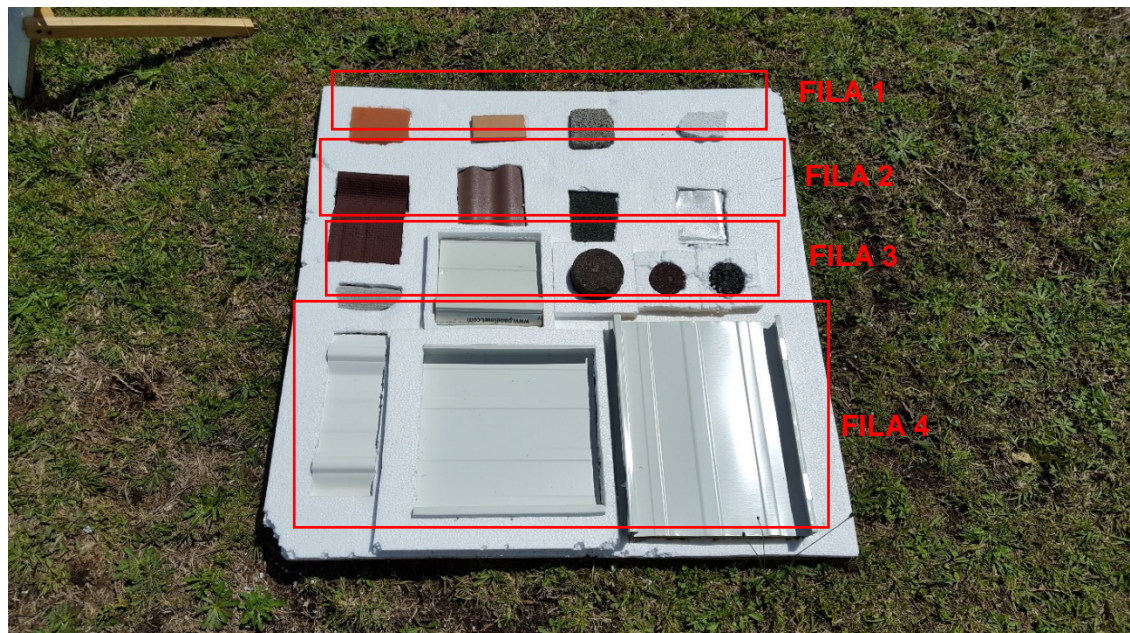


Figura 31, disposición de muestras en placa aislante.

El montaje en cuestión está constituido por 16 muestras dispuestas en el siguiente orden:

En la fila 1 de izquierda a derecha están las siguientes muestras: ladrillo catalán oscuro, ladrillo catalán claro, bloque y bloque con recubrimiento en pintura blanca.

En la fila 2 de izquierda a derecha están las siguientes muestras: teja roja marca Onduville, teja roja marca Viplast, Teja verde con recubrimiento gravillado color verde oscuro y teja de zinc.

En la fila 3 de izquierda a derecha están las siguientes muestras: teja de Eternit, teja con aislante de poliuretano, pavimento mezcla densa en caliente tipo MDC-3 color café, pavimento mezcla densa en caliente tipo MDC-3 color rojo y pavimento microaglomerado en caliente tipo F1.

En la fila 4 de izquierda a derecha están las siguientes muestras: teja UPVC con aislante de fibra de carbono, teja metálica con recubrimiento blanco y teja standing sean FV ATAC N°4 38mm.

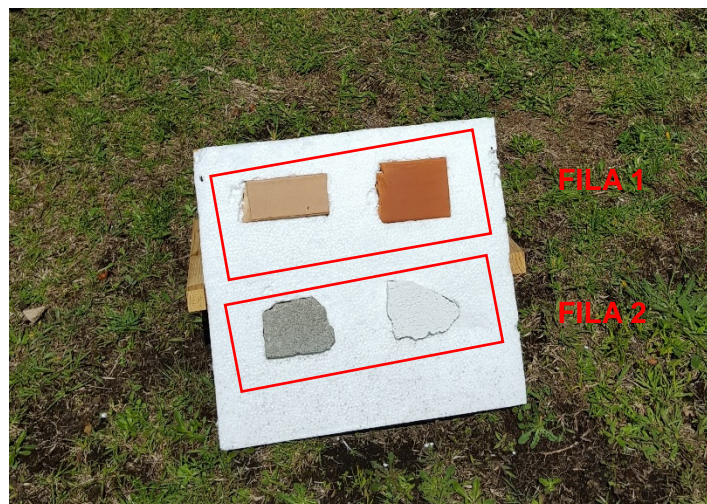


Figura 32, detalle de disposición de fachada.

El montaje de fachada está dispuesto simplemente en una cuadrícula, en donde la disposición es simplemente en la fila 1, ladrillo catalán claro y oscuro respectivamente, y, en la fila 2 bloque sin y con recubrimiento de pintura blanca respectivamente.

Tras realizar el montaje se procedió con la lectura y estudio de cada uno de los materiales, generando así una base de datos en función de los supuestos realizados en las Variables de la investigación, satisfaciendo el número de muestras encontradas en este rubro, la base de datos generada se anexa al final del presente en forma de tabla,.

2.5 GRÁFICOS Y RESULTADOS

2.5.1 Grama

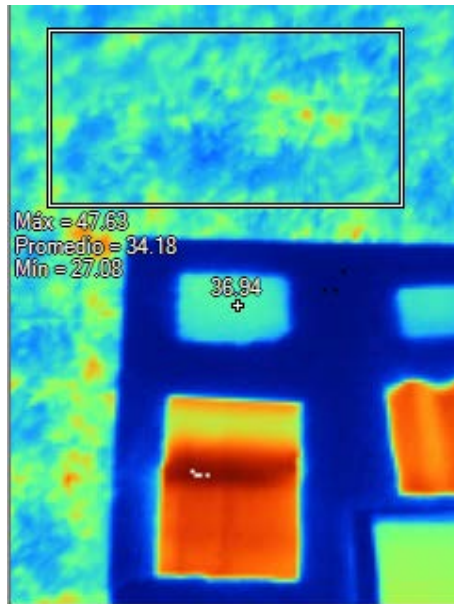


Figura 33, Toma y procesamiento de temperatura media de grama, material con comportamiento heterogéneo, 11 de octubre de 2016 (11:50)

Se evidencia de la Figura 35 que la cobertura natural del suelo respecto a las muestras ubicadas en el montaje presentan una dispersión importante en cuanto a temperatura, por consiguiente para contrastar de forma acorde esta cobertura respecto a las muestras en cuestión se analizaron las tomas de la cámara termográfica, en donde el valor obtenido es la media de los puntos de temperatura registrados en formato *raster* por parte de la cámara que se encuentran dentro del recuadro dibujado, donde el procesamiento de las imágenes responde a una media aritmética del valor registrado de cada punto según la capacidad de resolución de la cámara, este dato es la base para ver el aporte de las muestras evaluadas el efecto isla de calor.

2.5.2 Fachadas hacia oriente y occidente

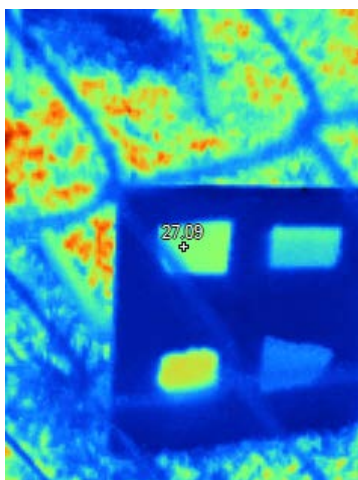


Figura 34, Máxima T catalán oscuro fachada oriente, 6 de octubre (11:40)

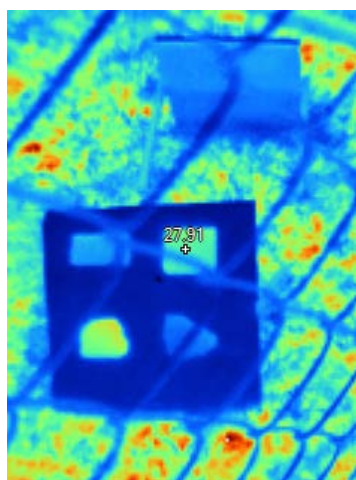


Figura 36, Máxima T catalán claro fachada oriente, 6 de octubre (11:40)

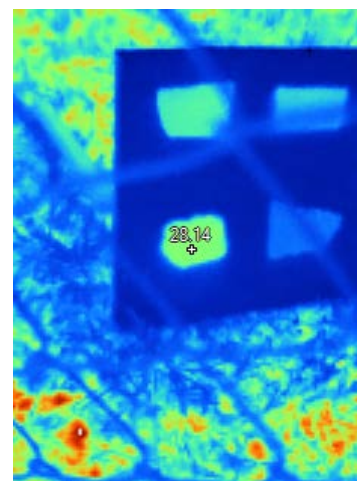


Figura 37, Máxima T bloque fachada oriente, 6 de octubre (11:40)

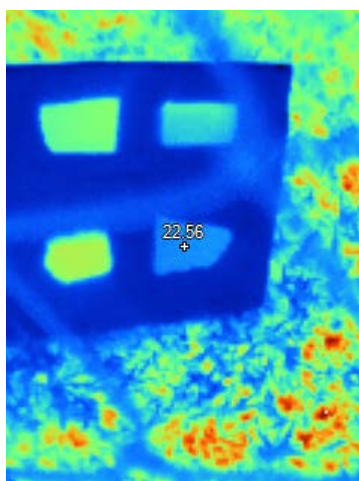


Figura 35, Máxima T bloque blanco fachada oriente, 6 de octubre (11:40)

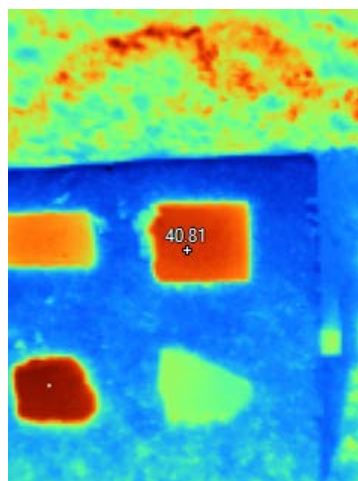


Figura 39, Máxima T catalán oscuro fachada occidente, 20 de octubre (14:50)

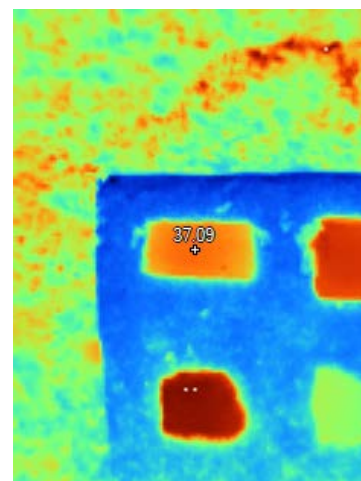


Figura 38, Máxima T catalán claro fachada occidente, 20 de octubre (14:50)

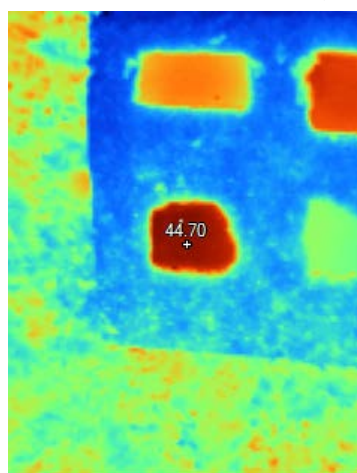


Figura 41, Máxima T bloque fachada occidente, 20 de octubre (14:50)

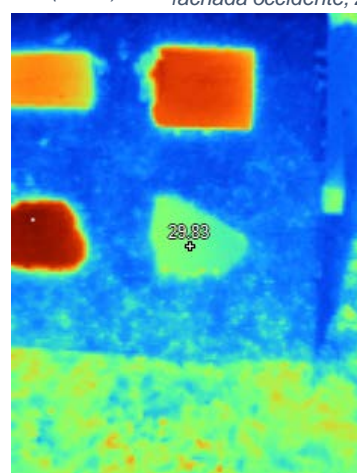
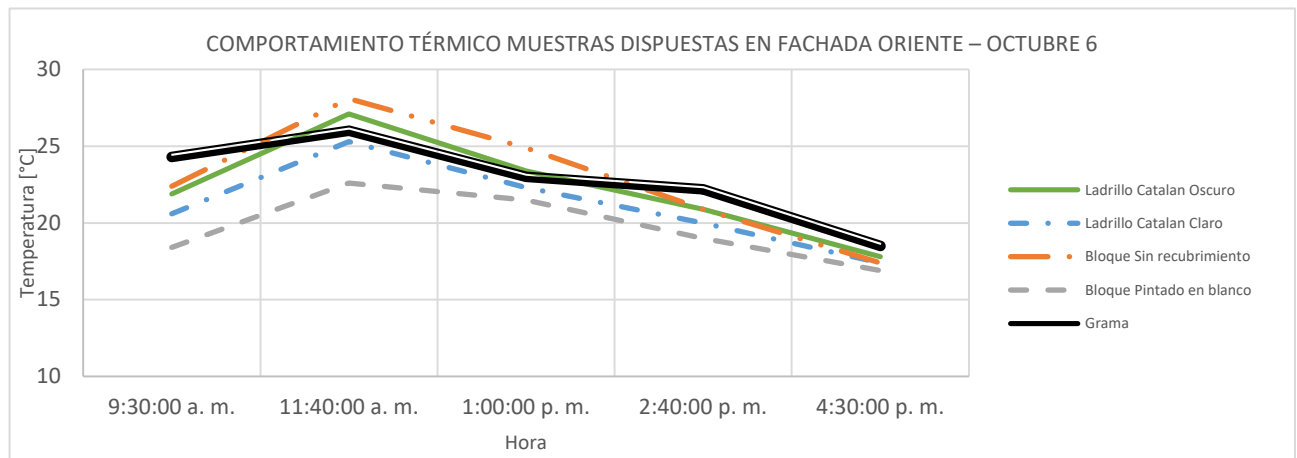


Figura 40, Máxima T bloque blanco fachada occidente, 20 de octubre (14:50)

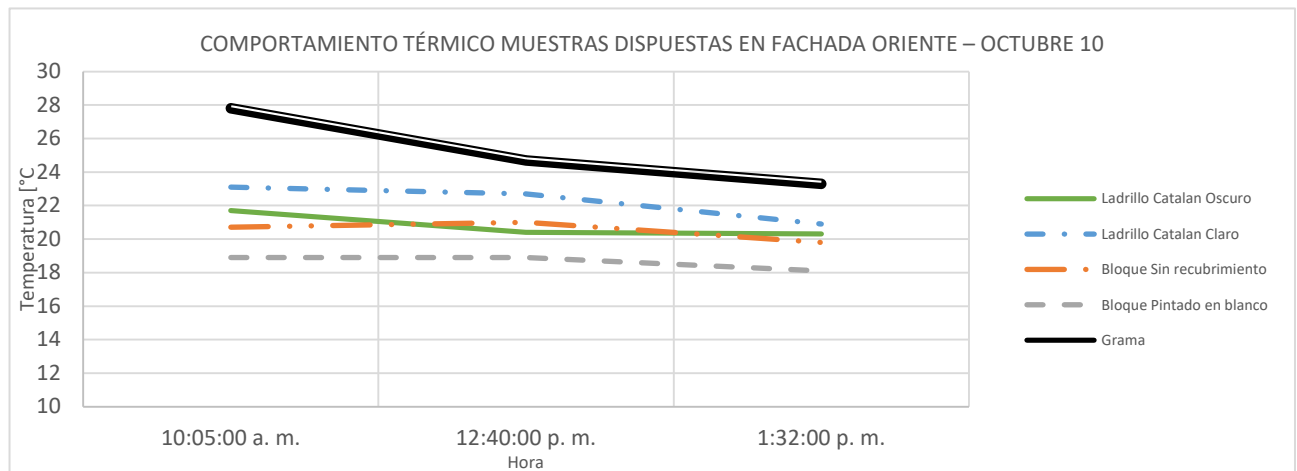
Es evidente que las imágenes tomadas no cuentan con leyenda de intensidad de temperatura a través de una paleta de colores, esto se debe a que se empleó el modo de enfoque libre de la cámara en cuestión con el fin de obtener una mayor precisión en cuanto al valor registrado de temperatura de cada muestra, no obstante, se puede tomar como guía para interpretar el cambio de temperatura el color de cada zona en particular, en donde los valores de temperatura menores están representados por las zonas azules, mientras, los colores rojos oscuros representan las zonas de concentración de mayores temperaturas, además el marcador que se encuentra en cada imagen representa la temperatura de cada muestra en cuestión.

Con los datos obtenidos se generaron los siguientes gráficos de comportamiento térmico:

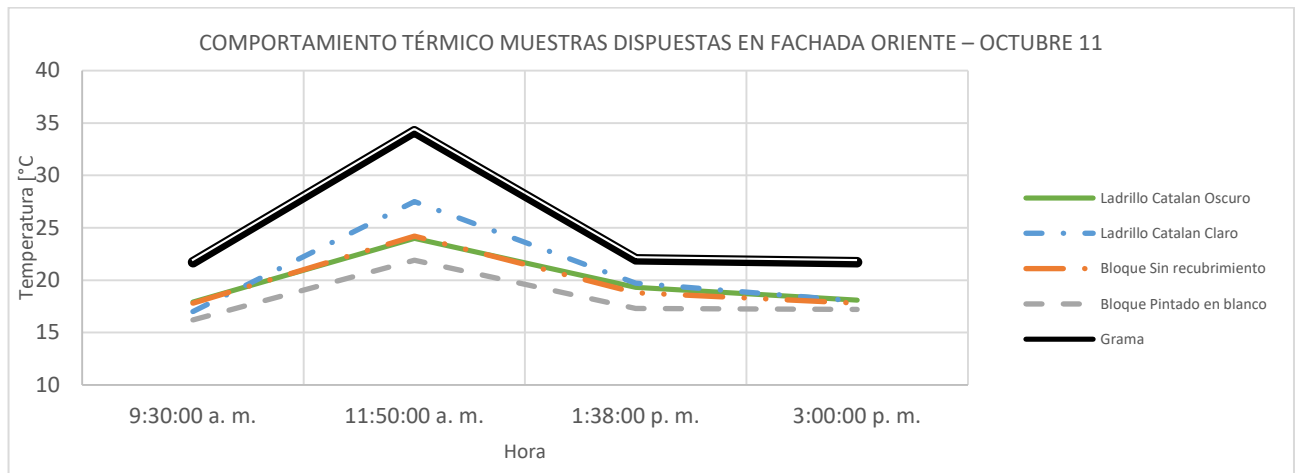
Fachadas hacia el oriente



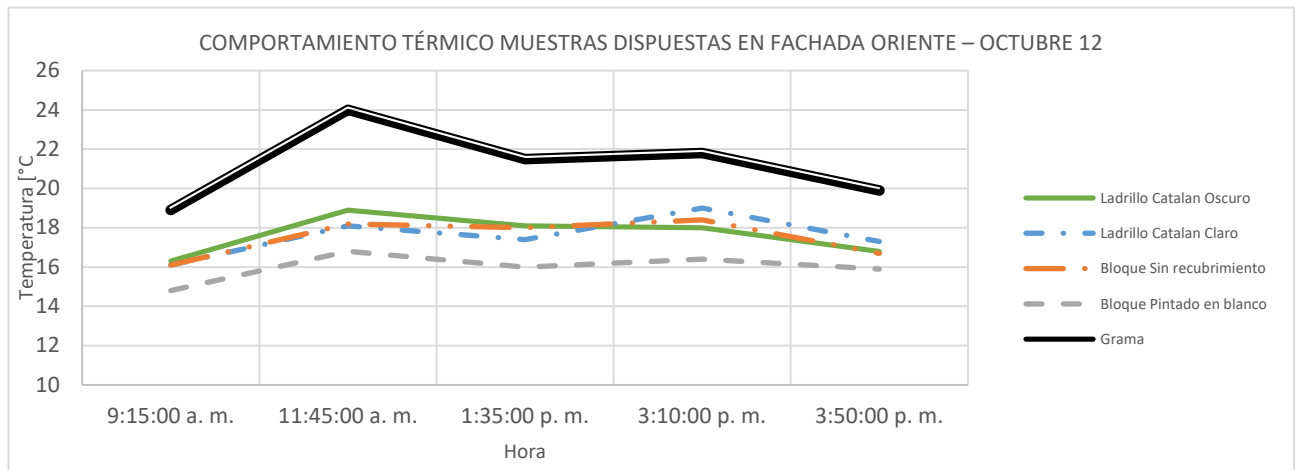
Gráfica 1, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 10 de 2016



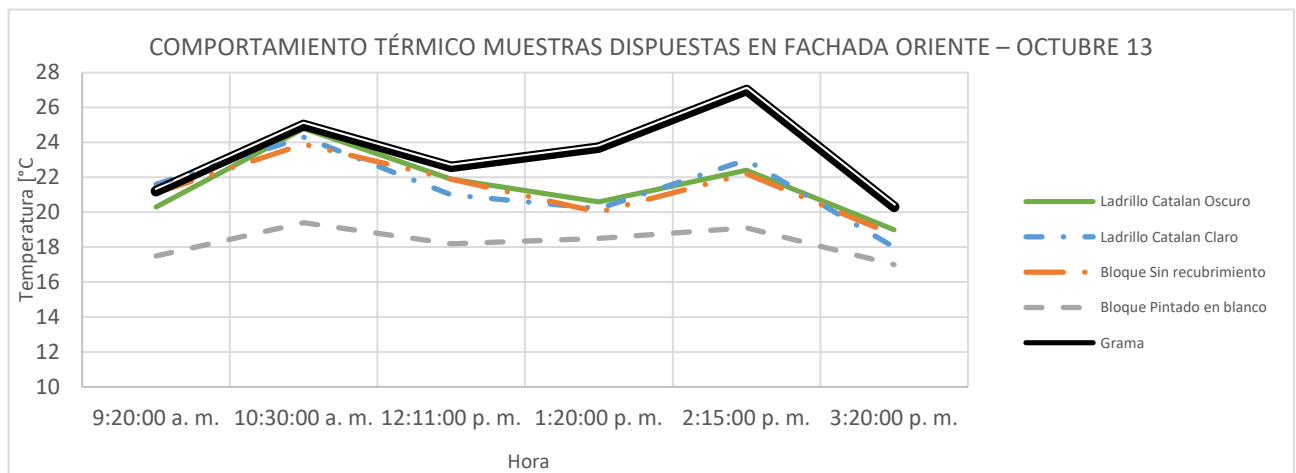
Gráfica 2, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 10 de 2016



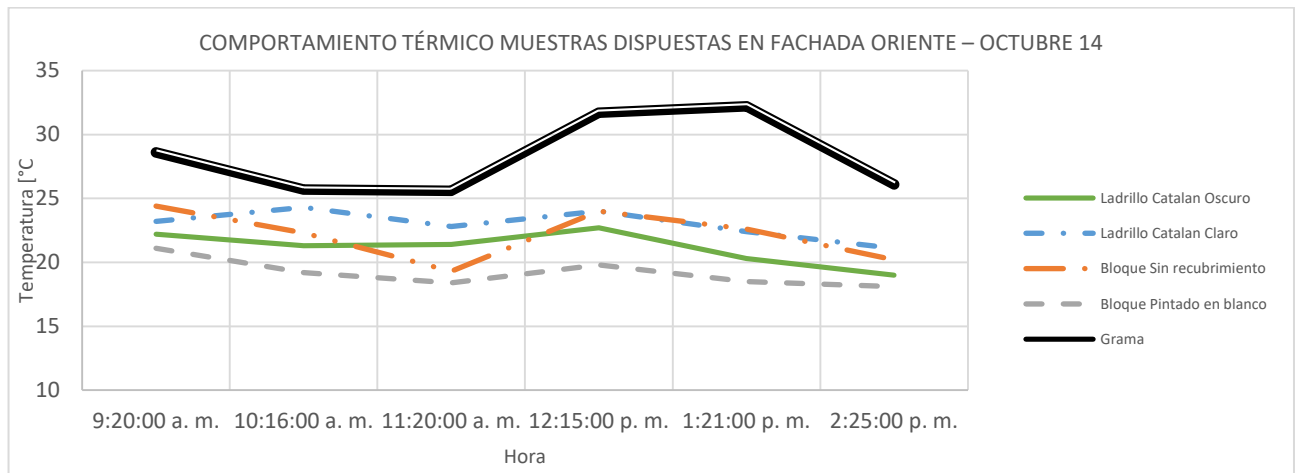
Gráfica 3, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 11 de 2016



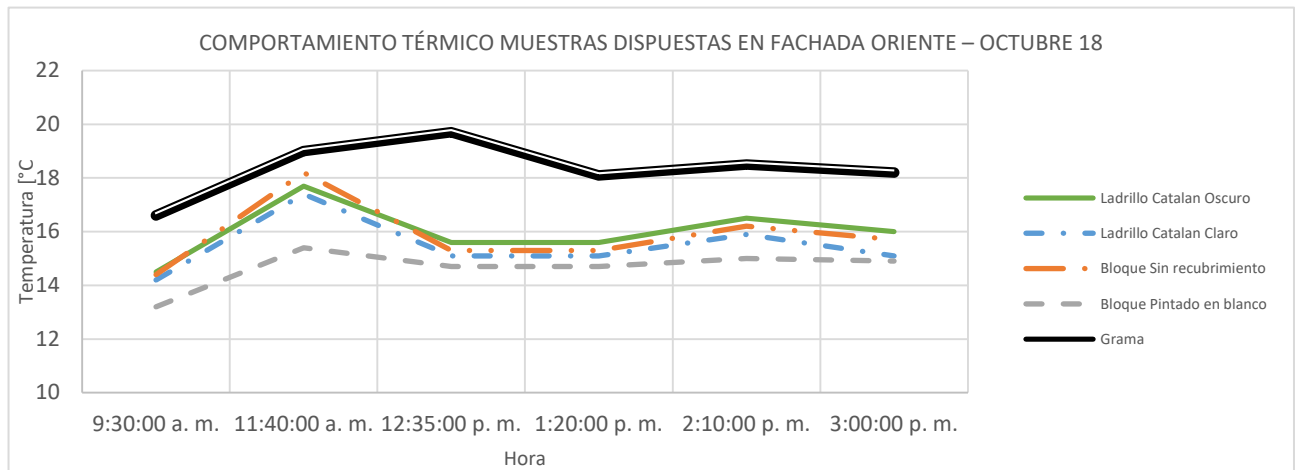
Gráfica 4, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 12 de 2016



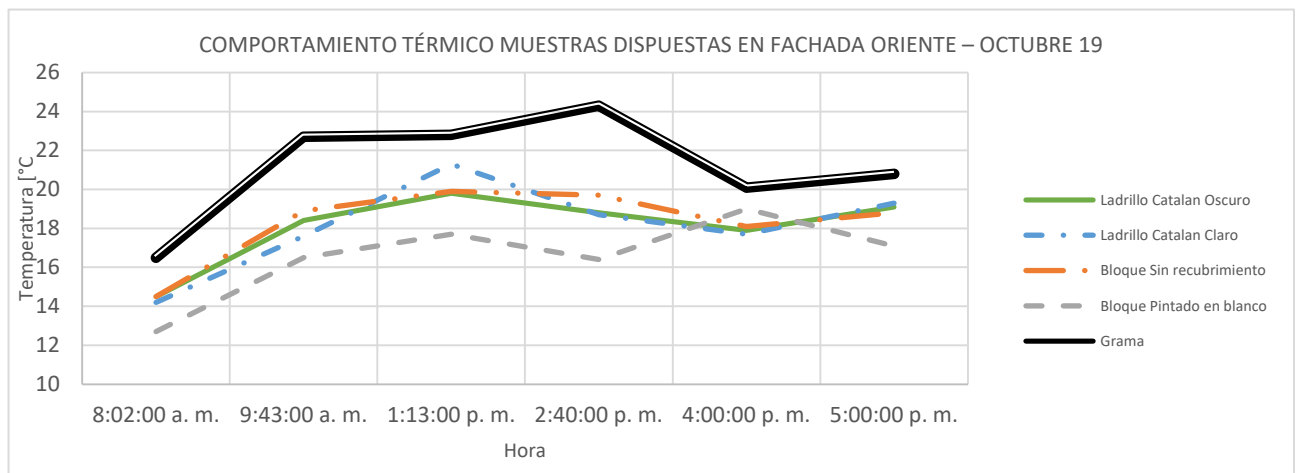
Gráfica 5, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 13 de 2016



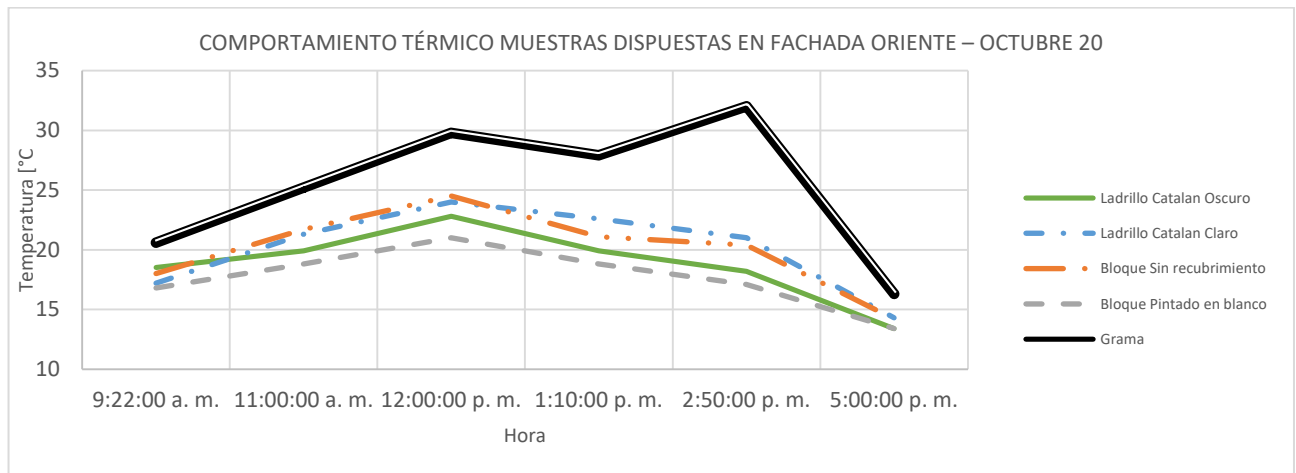
Gráfica 6, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 14 de 2016



Gráfica 7, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 18 de 2016

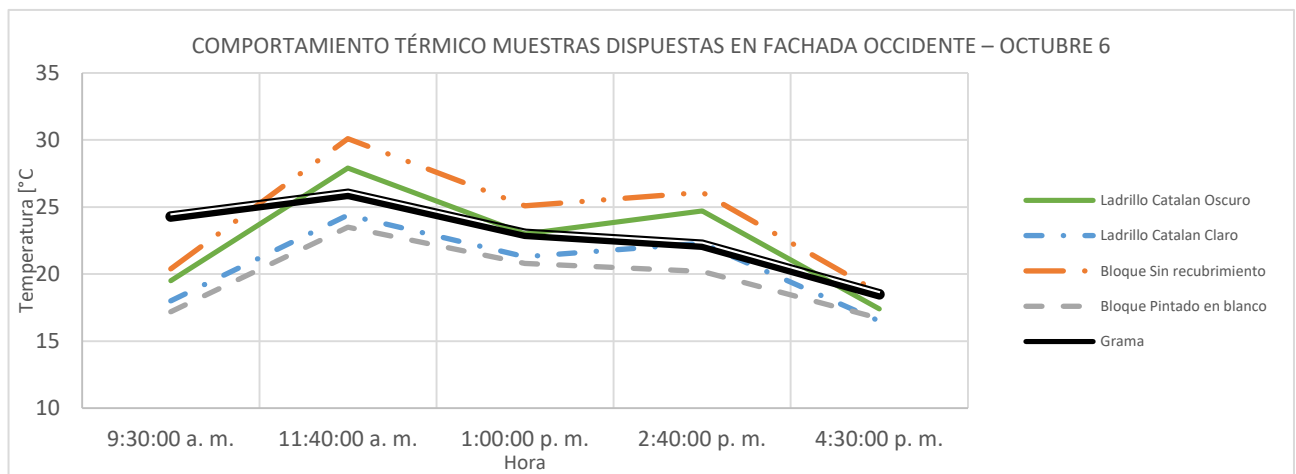


Gráfica 8, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 19 de 2016

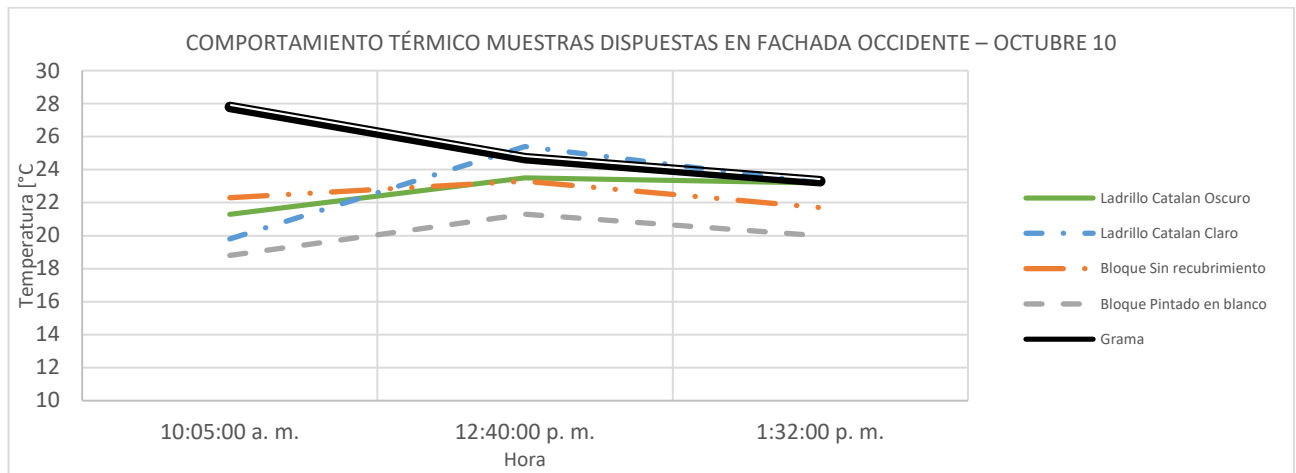


Gráfica 9, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al oriente, Octubre 20 de 2016

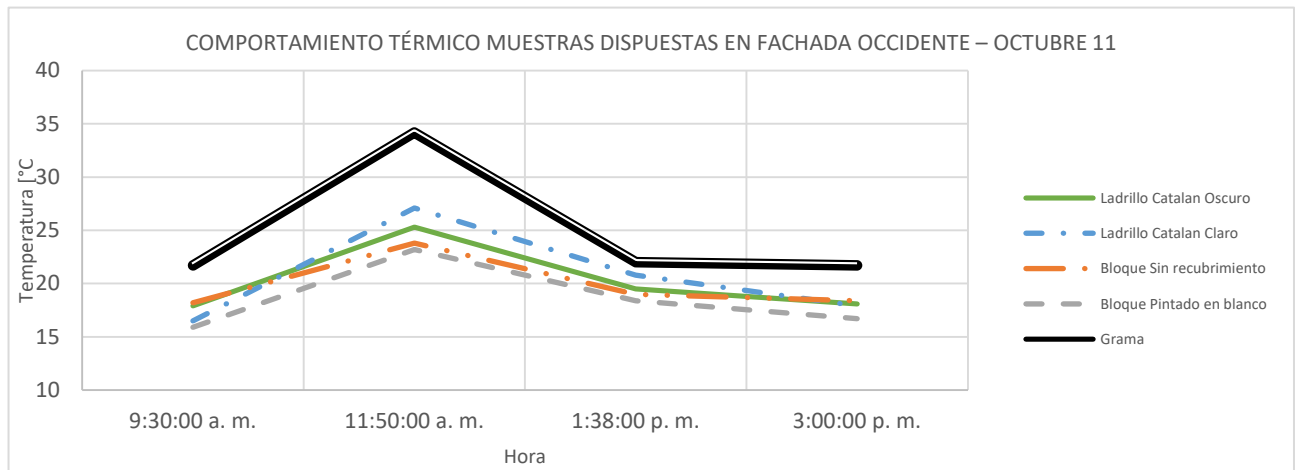
Fachadas hacia el occidente



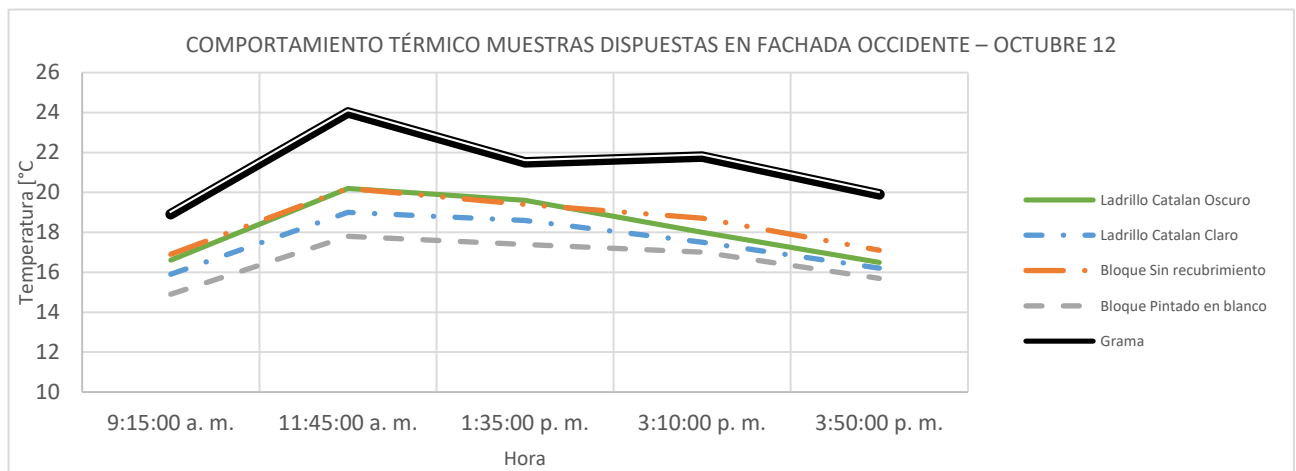
Gráfica 10, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 6 de 2016



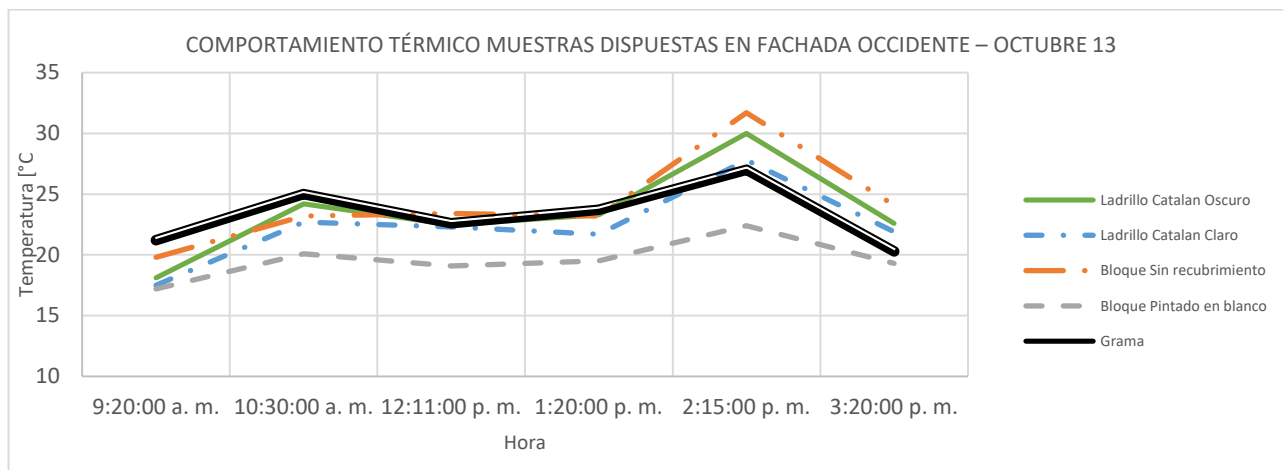
Gráfica 11, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 10 de 2016



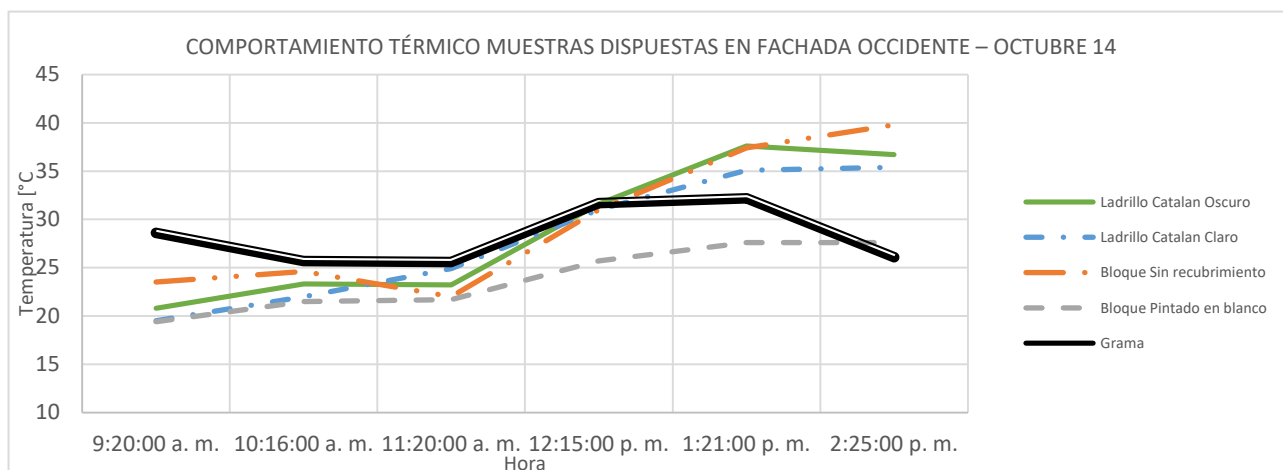
Gráfica 12, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 11 de 2016



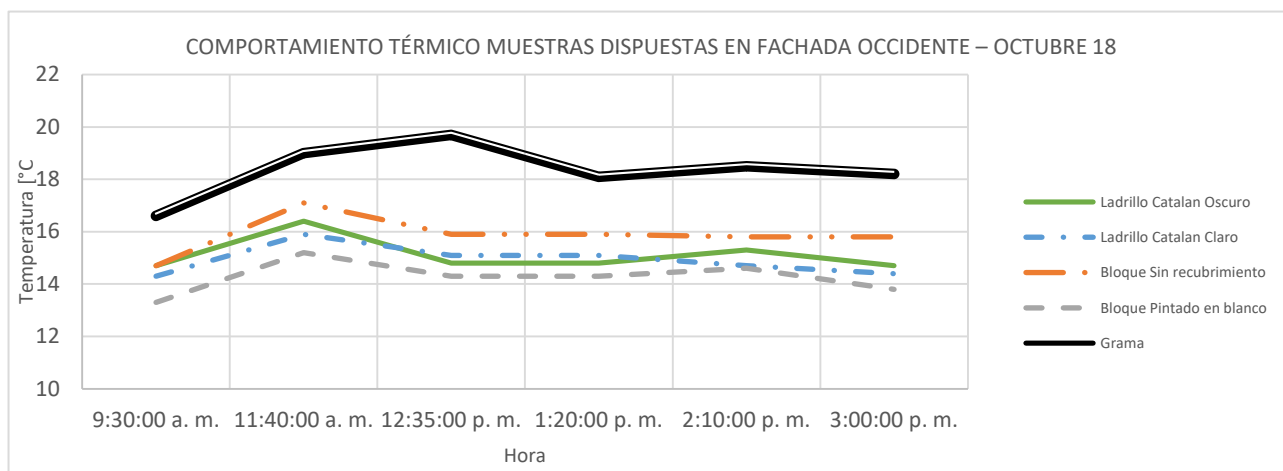
Gráfica 13, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 12 de 2016



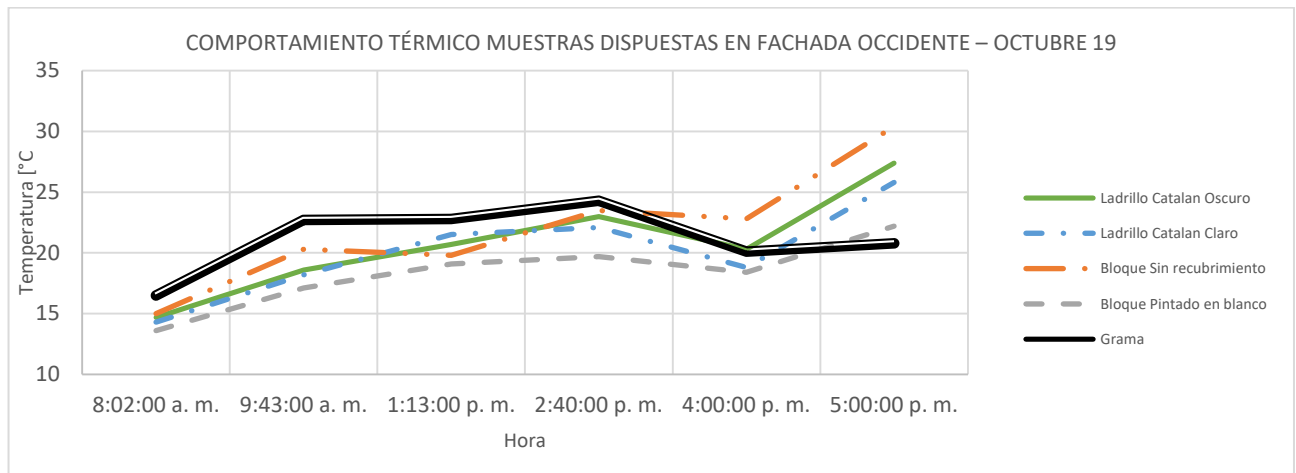
Gráfica 14, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 13 de 2016



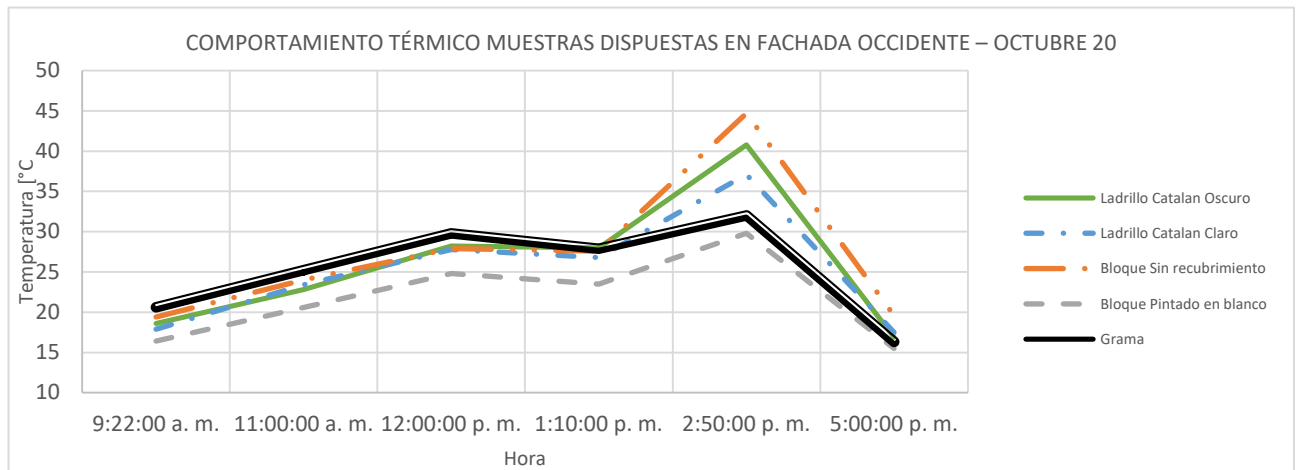
Gráfica 15, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 14 de 2016



Gráfica 16, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 18 de 2016



Gráfica 17, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 19 de 2016



Gráfica 18, comportamiento térmico muestras de fachada dispuesta al occidente, Octubre 20 de 2016

Los gráficos diurnos de comportamiento térmico de las muestras se generaron simplemente apareando los datos de temperatura de todas las muestras en cada tiempo de medición, en donde lo que se busca es contrastar en cada momento de toma el comportamiento de cada material respecto a los demás.

De los gráficos diurnos de comportamiento térmico generados se puede observar que las fachadas tienen una influencia limitada en donde no hay un aporte significativo que pueda impactar al ambiente aportando al efecto de “isla de calor”, se evidencia además que la fachada oriente presenta valores de temperatura menores a la fachada occidente, lo cual se sospecha responde a la trayectoria que tiene el sol a lo largo del día, ya que en horas de la mañana el aporte de radiación es relativamente bajo, mientras que desde y tras el medio día la incidencia de la radiación solar es algo mayor, e impacta de forma más directa

el costado occidental, también se es evidente que las horas predominantes en las cuales las muestras superan la temperatura de la cobertura natural corresponden a las horas de la tarde, lo cual se puede explicar debido a que la absorbancia de los materiales duros evaluados es mayor a la de la cobertura natural, por esto al disminuir la incidencia del sol sobre las muestras estas tienden a mantener una temperatura mayor como resultado de la liberación de la energía almacenada procedente de la radiación solar, en forma de irradiación de onda larga, que corresponde a ondas de tipo infrarrojo que generan calor.

2.5.3 Cubiertas

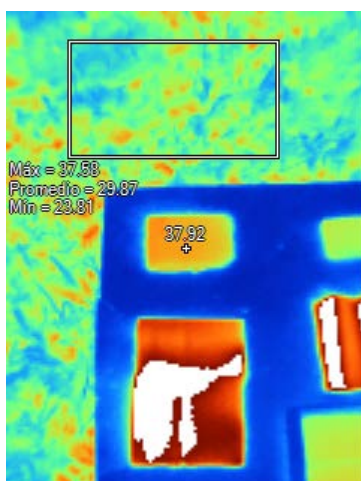


Figura 42, Máxima T catalán oscuro, 4 de octubre (10:50)

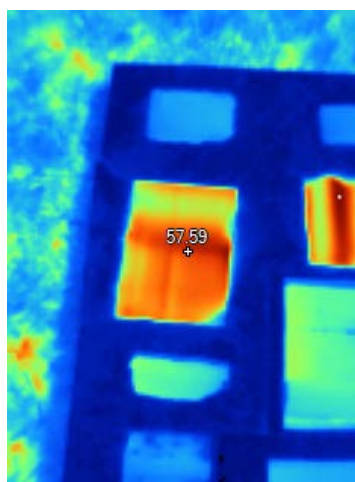


Figura 43, Máxima T teja roja Onduville, 13 octubre (14:15)

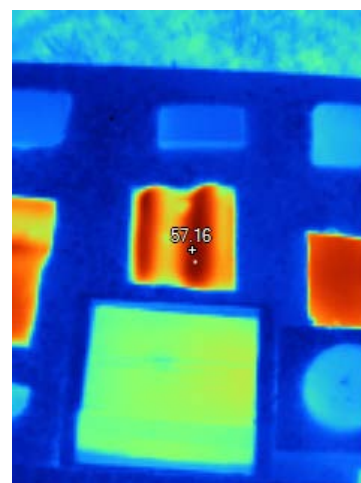


Figura 44, Máxima T teja roja polipropileno Viplast, 14 de Octubre (9:20)

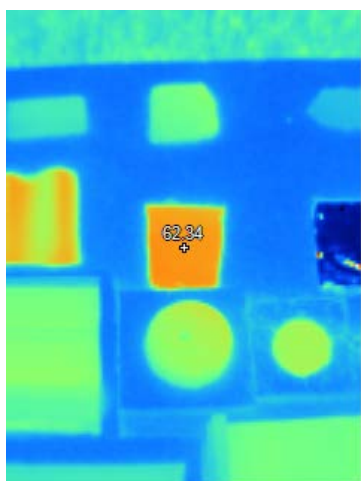


Figura 45, Máxima T teja verde gravillada, 14 de octubre (12:15)

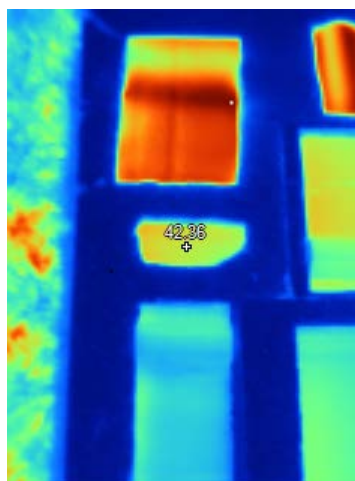


Figura 46, Máxima T teja Eternit, 14 de octubre (13:21)

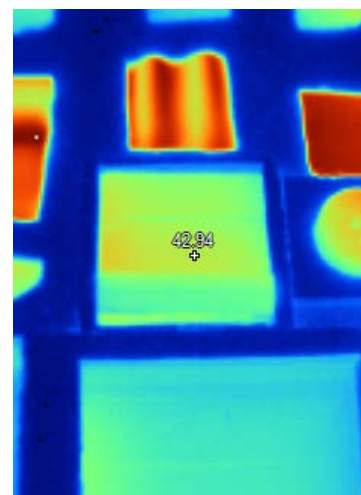


Figura 47, Máxima T teja aislante poliuretano, 14 de octubre (13:21)

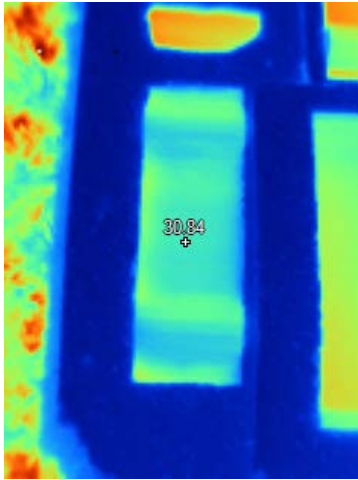


Figura 48, Máxima T teja UPVC aislante con fibra de carbono, 14 de octubre (13:21)

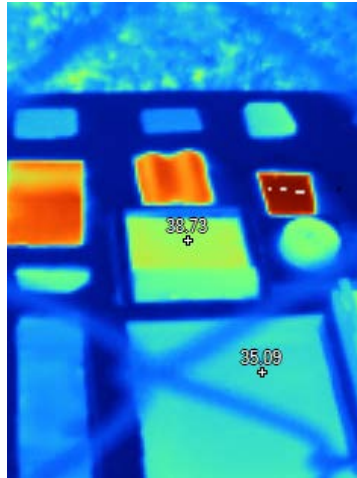


Figura 49, Máxima T teja con recubrimiento blanco, 6 de octubre (11:40)

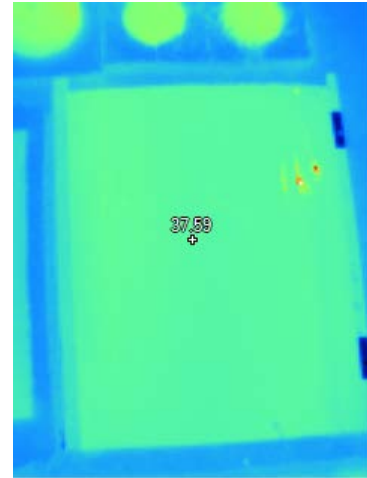
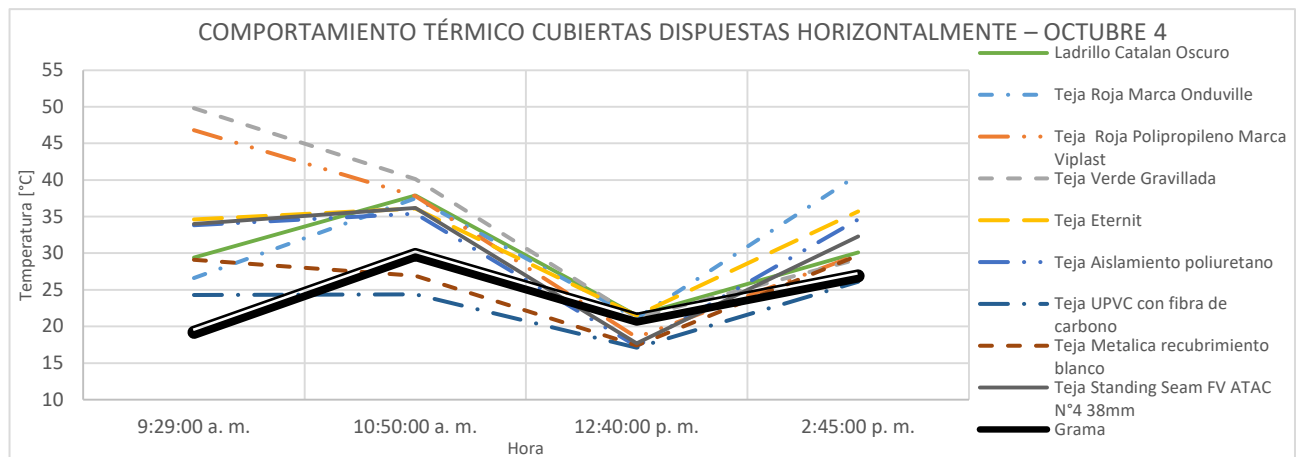
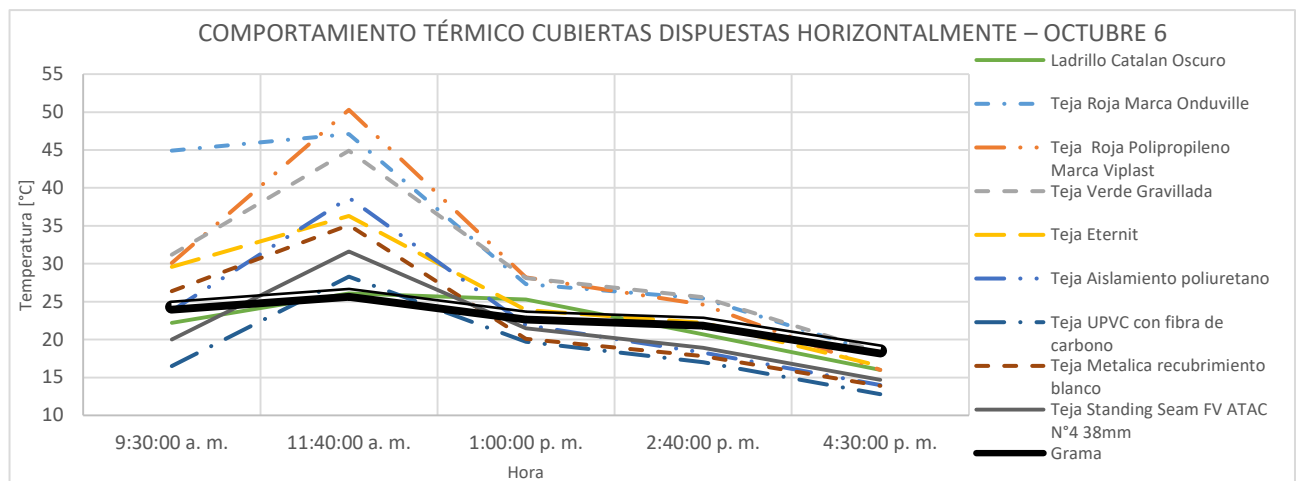


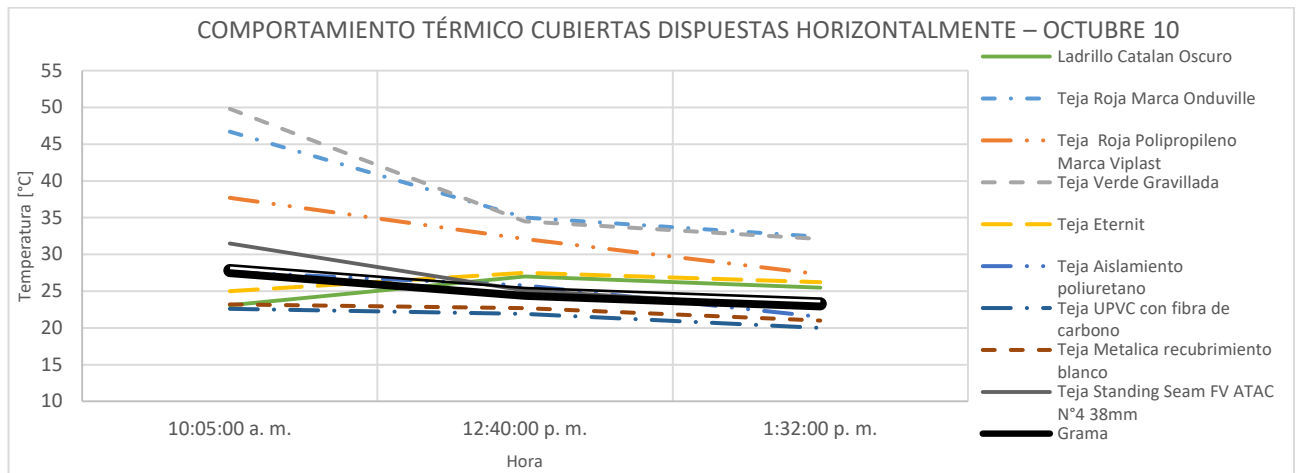
Figura 50, Máxima T teja standing seam FV ATAC N°4, 14 de octubre (13:21)



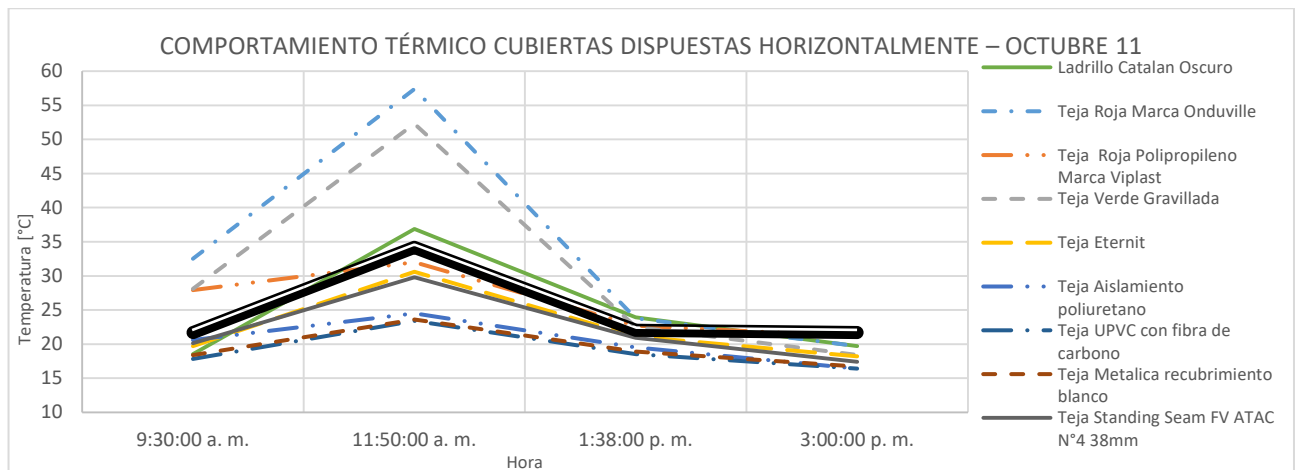
Gráfica 19, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 4 de 2016



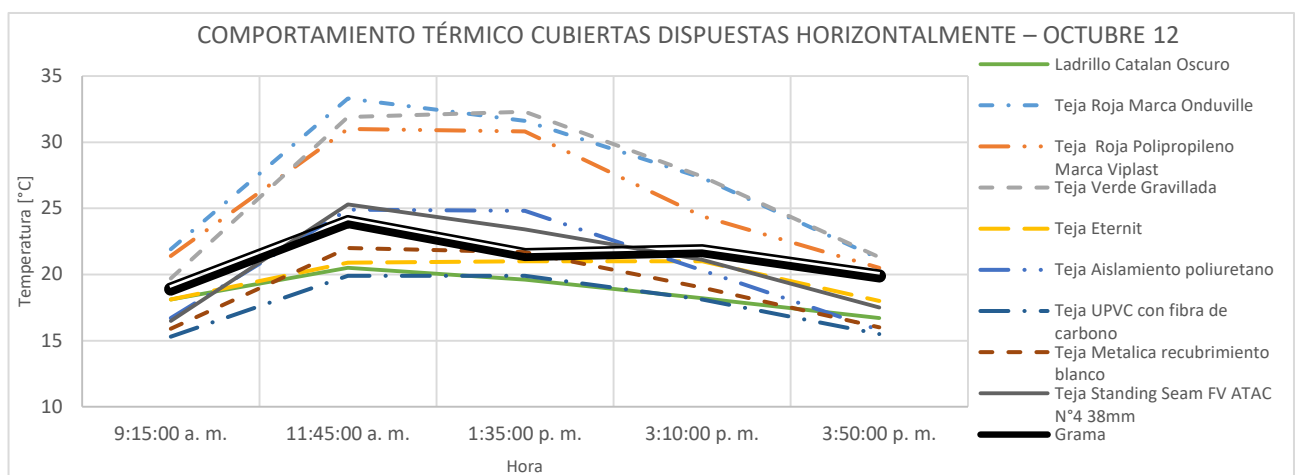
Gráfica 20, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 6 de 2016



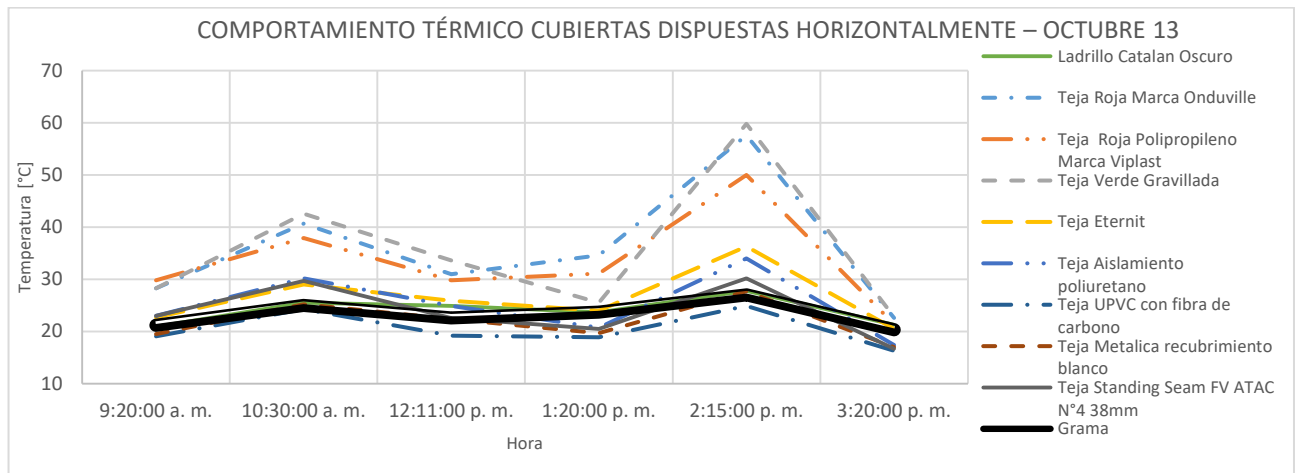
Gráfica 21, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 10 de 2016



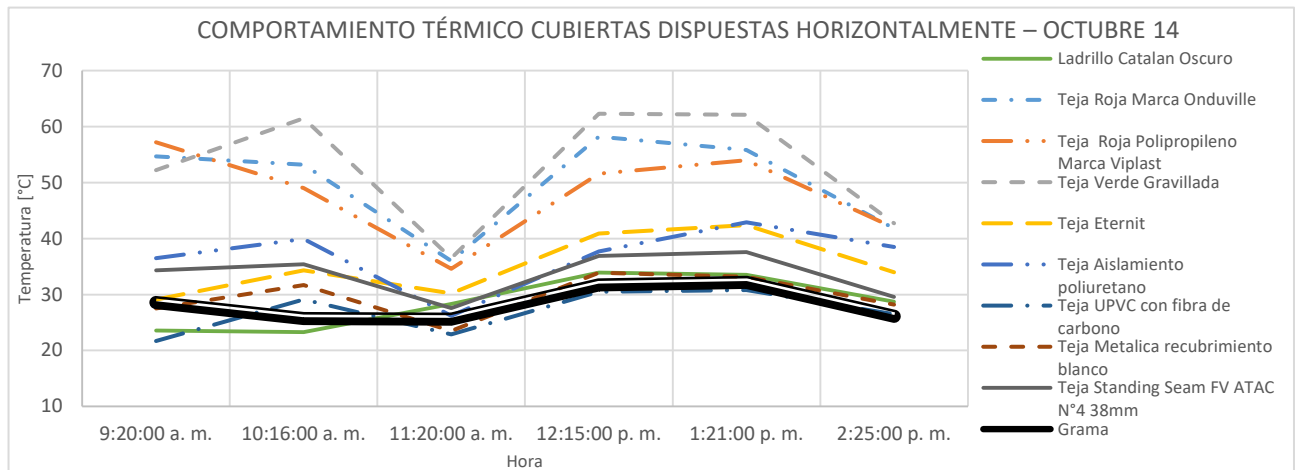
Gráfica 22, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 11 de 2016



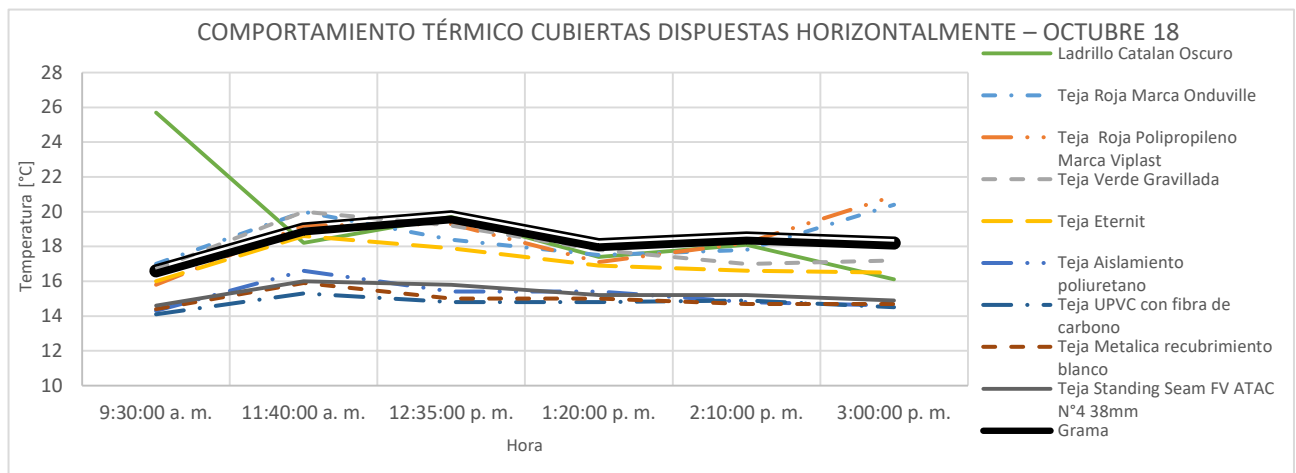
Gráfica 23, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 12 de 2016



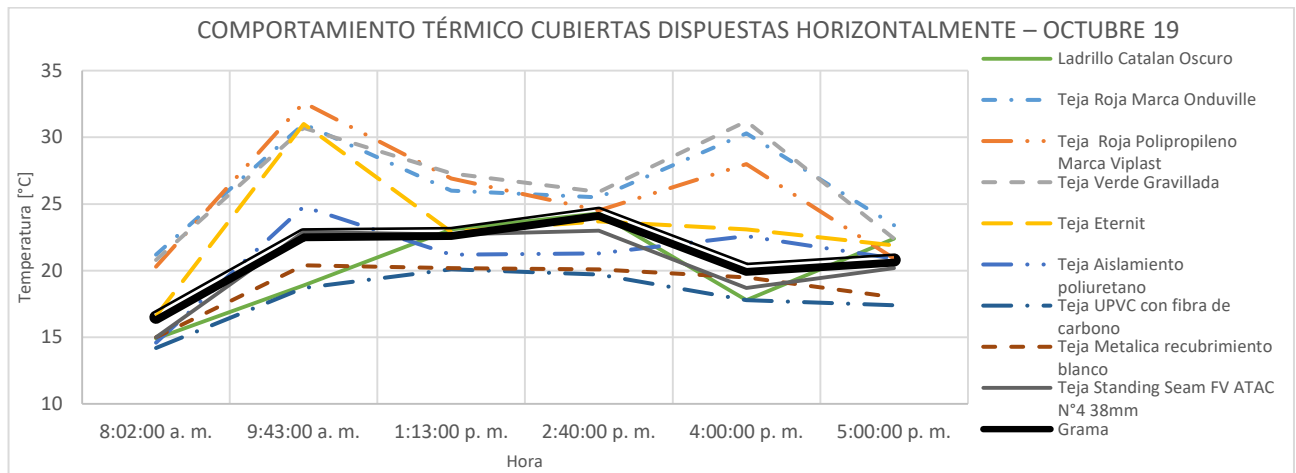
Gráfica 24, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 13 de 2016



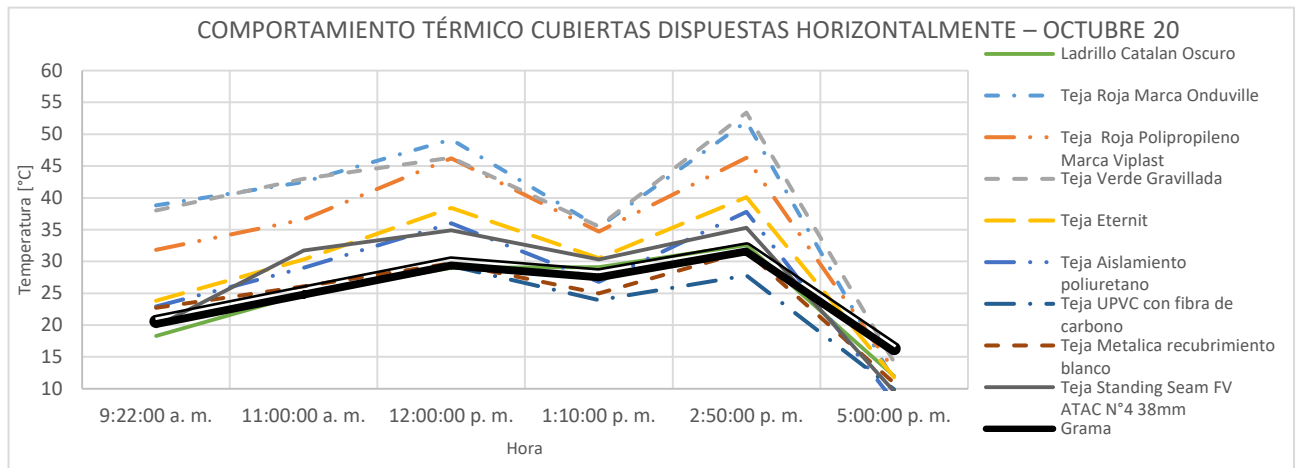
Gráfica 25, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 14 de 2016



Gráfica 26, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 18 de 2016



Gráfica 27, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 19 de 2016



Gráfica 28, comportamiento térmico muestras de cubierta dispuestas horizontalmente, octubre 20 de 2016

De los datos obtenidos de las mediciones de materiales dispuestos como cubiertas se evidencia que hay una diferencia marcada en ordenes de magnitud del comportamiento térmico de las muestras estudiadas, se evidencia también que como tendencia una gran cantidad de muestras evidencian una temperatura mayor a la cobertura natural, no obstante se ve que al momento en el cual la radiación solar incidente disminuye las muestras de cubierta reducen su temperatura de forma acelerada, evidenciándose que la temperatura de la cobertura natural es mayor, esto se debe a que disipan la energía infrarroja eficazmente.

Se puede observar también que el comportamiento de las muestras elaboradas con materiales alternativos es homogéneo, cambiando simplemente en la magnitud de temperatura en superficie, otra observación relevante es que las muestras alternativas

poseen como color predominante el blanco, lo cual aporta un grado de reflectividad mayor, el cual permite que no se almacena la misma cantidad de energía que en las muestras de materiales tradicionales, lo cual desemboca en un aporte que mitiga el efecto de isla de calor, un claro ejemplo de esto se evidencia en la muestra de teja metálica que simplemente está recubierta de color blanco.

De las gráficas se puede inferir también que el comportamiento de las muestras de materiales tales como la teja roja Onduvile, teja roja Viplast y teja verde con recubrimiento gravillado tiene un alto potencial de aporte al efecto de isla de calor en las condiciones particulares del sitio.

2.5.4 Pavimentos



Figura 51, Máxima T pavimento color café tipo F, 14 de octubre (12:15)

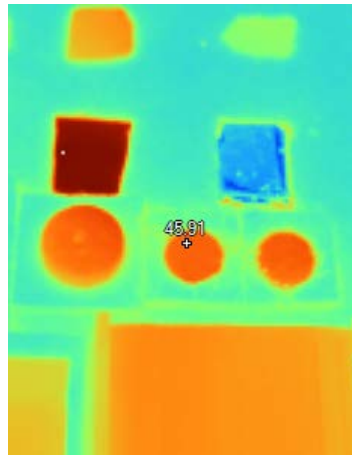


Figura 52, Máxima T pavimento color rojo tipo F, 14 de octubre (12:15)

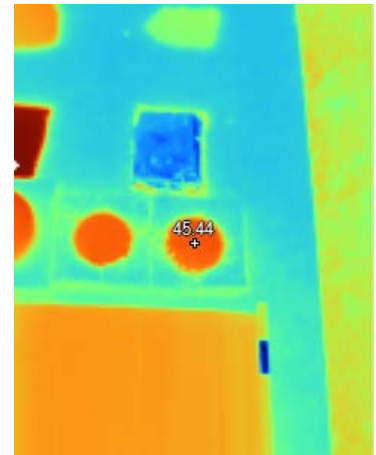
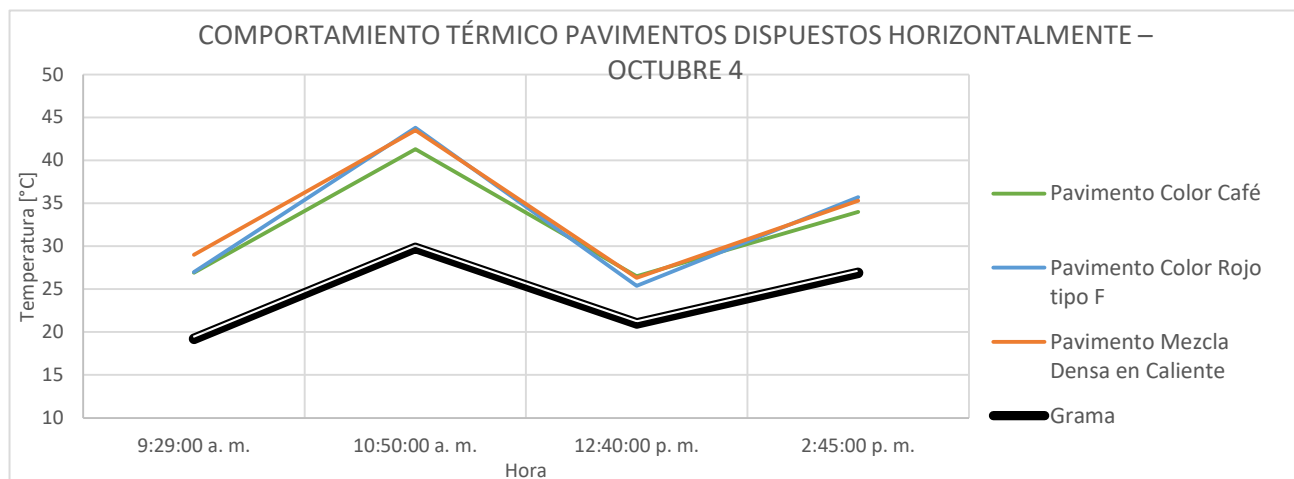
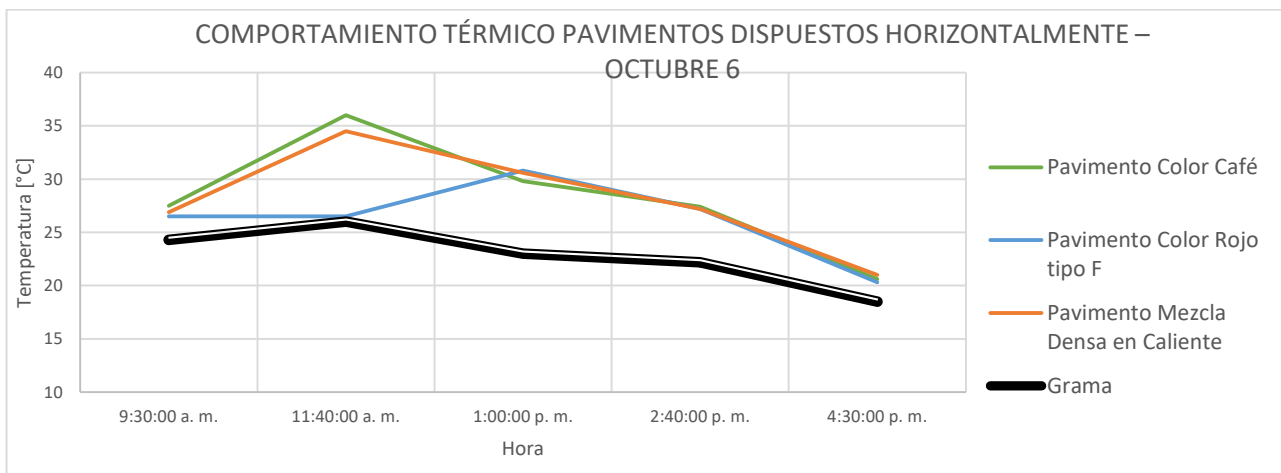


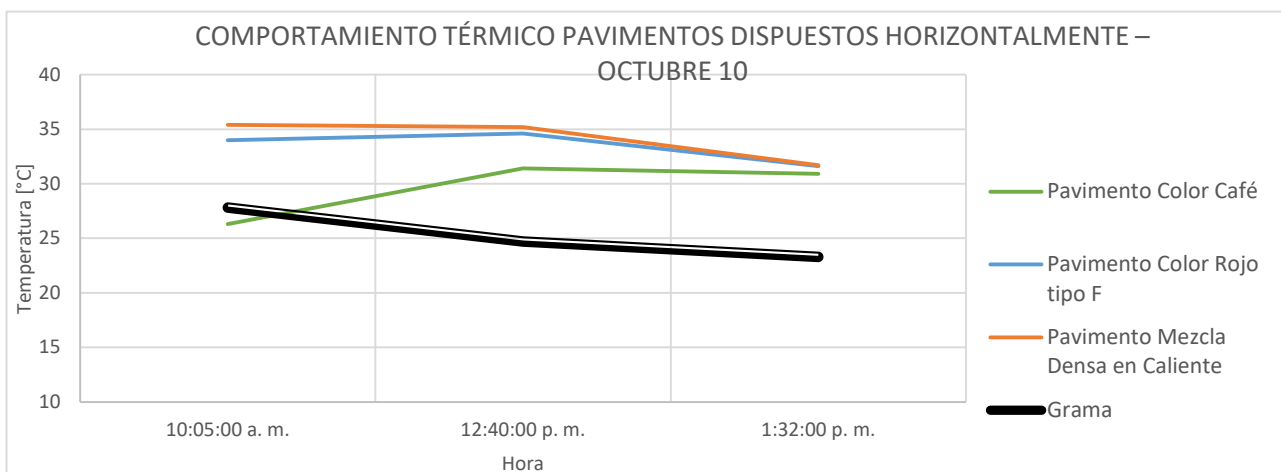
Figura 53, Máxima T pavimento mezcla densa en caliente, 14 de octubre (12:15)



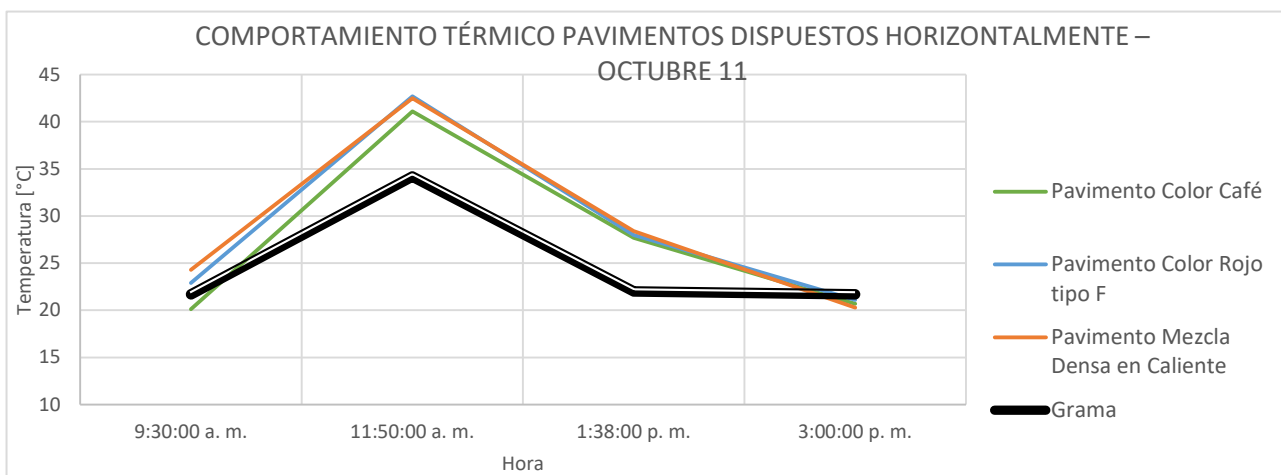
Gráfica 29, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 4 de 2016



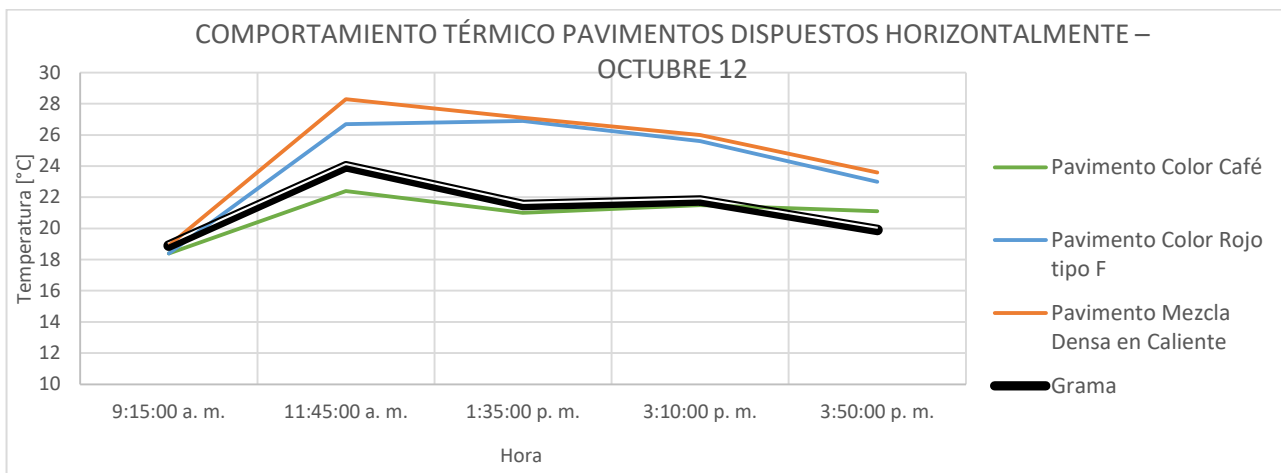
Gráfica 30, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 6 de 2016



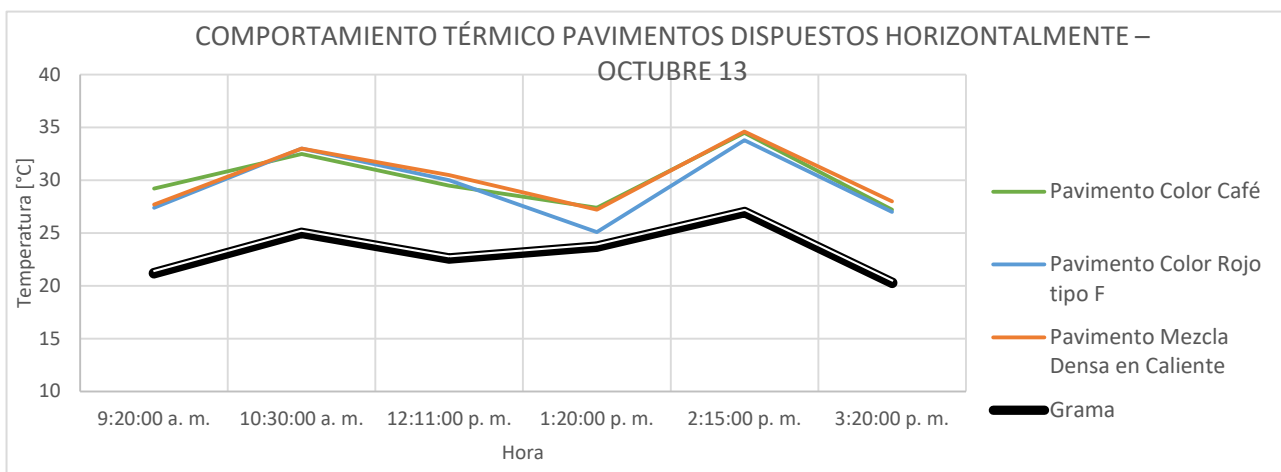
Gráfica 31, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 10 de 2016



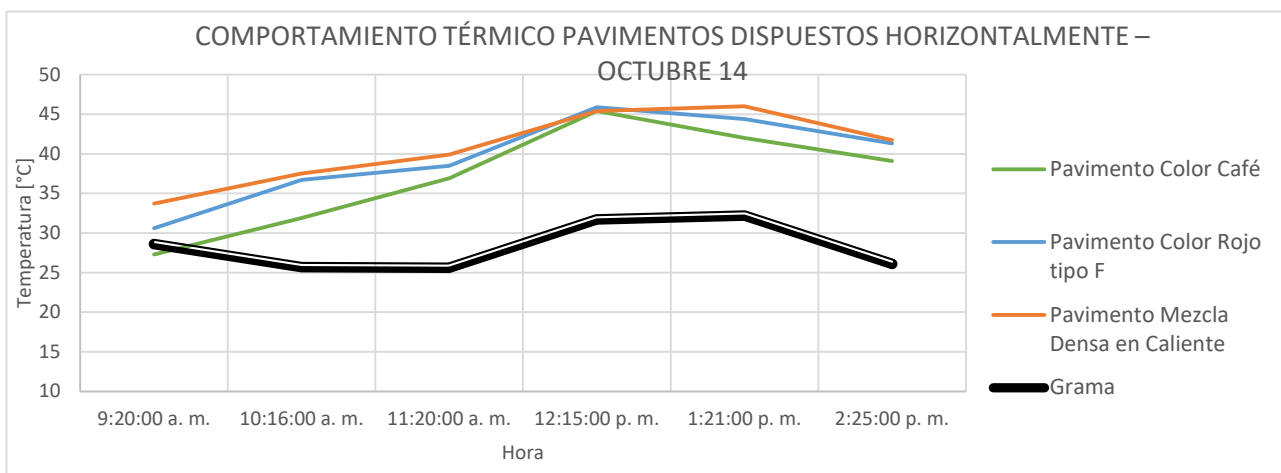
Gráfica 32, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 11 de 2016



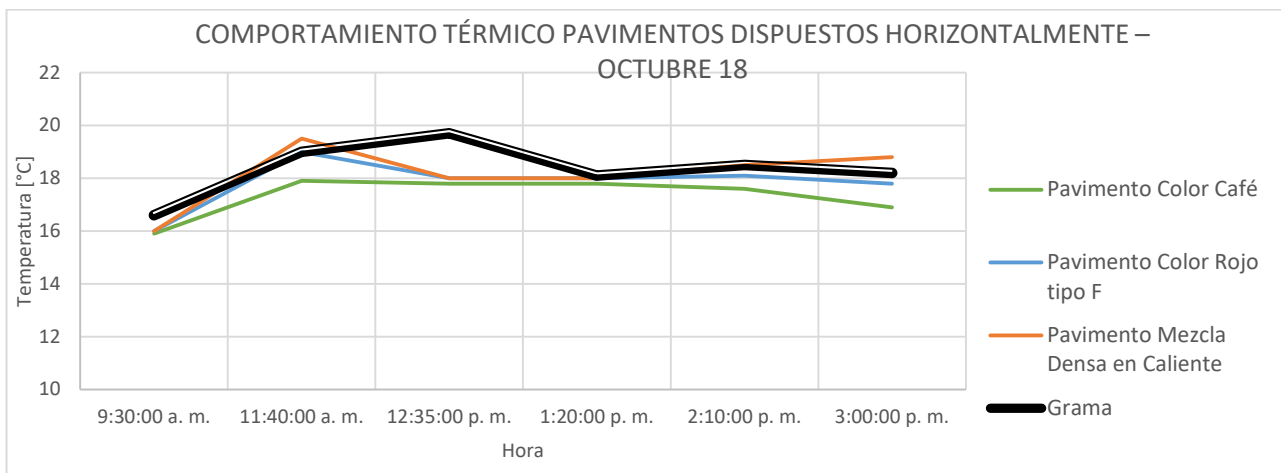
Gráfica 33, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 12 de 2016



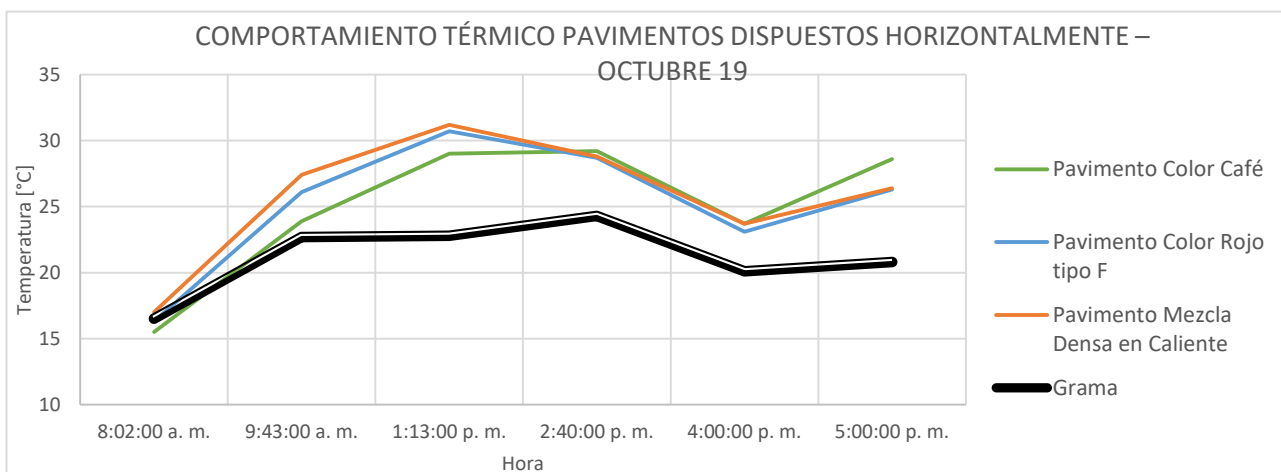
Gráfica 34, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 13 de 2016



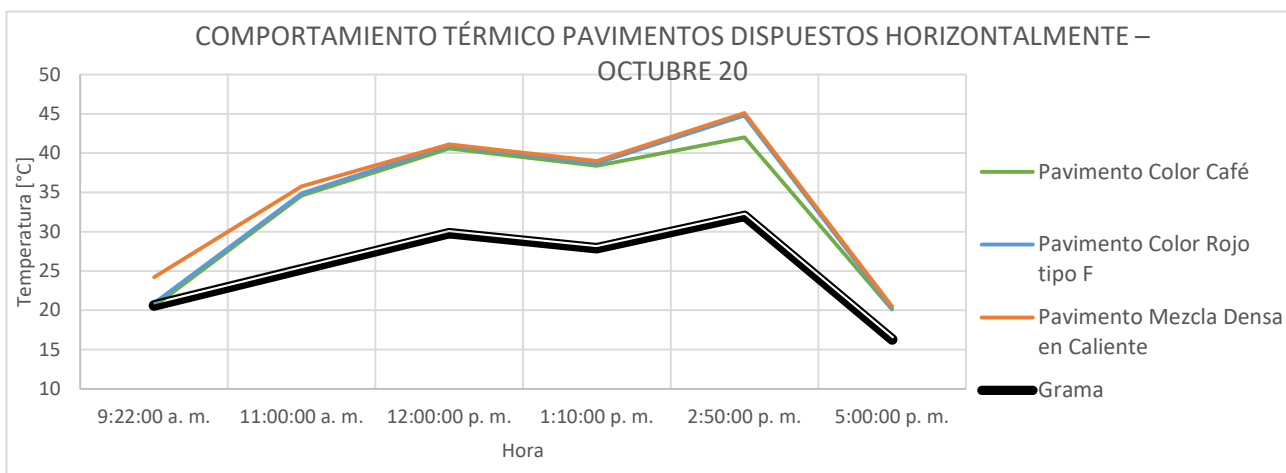
Gráfica 35, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 14 de 2016



Gráfica 36, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 18 de 2016



Gráfica 37, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 19 de 2016



Gráfica 38, comportamiento térmico muestras de pavimento dispuestas horizontalmente, octubre 20 de 2016

Del comportamiento de las muestras de pavimento se observa que en términos generales no hay diferencias significativas de muestra a muestra, por lo cual es irrelevante el escoger un material en particular por sobre los demás respecto al apartado de desempeño térmico, no obstante se evidencia que respecto a la cobertura natural, este uso de suelo es potencial de aporte significativo al efecto de isla de calor ya que además de tener temperaturas sumamente altas, estas muestras tienen un grado de absorción tal que absorben una gran cantidad de energía en forma de radiación solar, que posteriormente liberan prolongadamente en forma de energía calórica. Se debe entonces tener especial cuidado con este tipo de obras de infraestructura, y según lo observado es pertinente trabajar en diseño de mezclas asfálticas que mitiguen el efecto de isla de calor, y a su vez sean seguras y cumplan el apartado técnico vigente actualmente a nivel nacional.

2.5.1 Técnicas para análisis de la información

○ Ajuste de distribución y valor máximo esperado

Para ajustar los datos a una distribución de probabilidad se tomará la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov, en donde se comparan distribuciones de probabilidad empíricas versus la distribución de los datos generada del histograma a contrastar, la prueba se fundamenta en la curva de Lorenz, la cual es una representación gráfica empleada para bosquejar la distribución relativa de una variable en un dominio determinado, de donde a mayor ajuste se generará una línea de tendencia tal que tiende a una línea con una pendiente de 45°, así a menor ajuste se evidencia una línea con pendiente variable a lo largo de su recorrido.

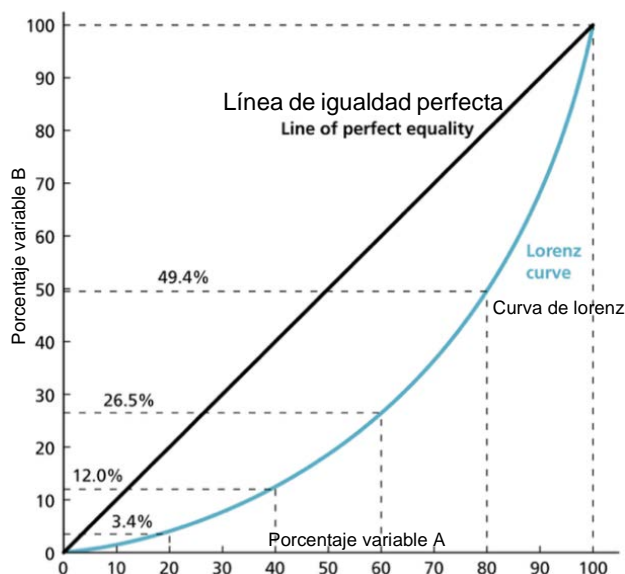


Figura 54, curva de Lorenz, adaptado de (Montás & Allende, 2007)

El método permite ajustar de forma no paramétrica distribuciones continuas en donde los valores críticos están tabulados para distribuciones con parámetros especificados, así como

algunos valores no especificados como las distribuciones normal, weibull, exponencial y gamma.

Se fija entonces un valor crítico y se compara con el valor obtenido de K-S, en donde si K-S es menor que el valor crítico se infiere que las dos distribuciones contrastadas son iguales y se cuenta con un buen nivel predictivo.

El punto de partida de la prueba en cuestión parte de la hipótesis nula de que las dos muestras a contrastar provienen de poblaciones con la misma función de distribución, entonces:

$$H_0: F_a(x) = F_b(x)$$

$$H_a: F_a(x) \neq F_b(x)$$

De donde se evalúa por medio de la siguiente estadística

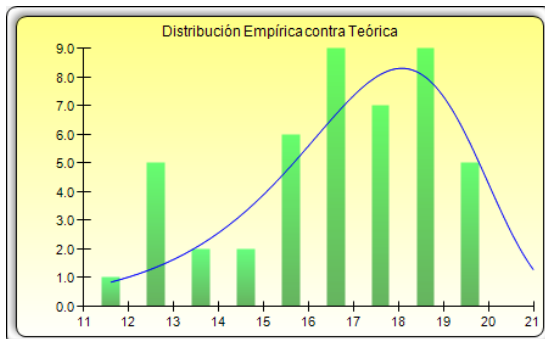
$$D_{a,b} = \sup |F_a(x) - F_b(x)| \text{ (calculado mediante simulación)}$$

En donde la hipótesis nula se rechaza al nivel de significancia establecido si

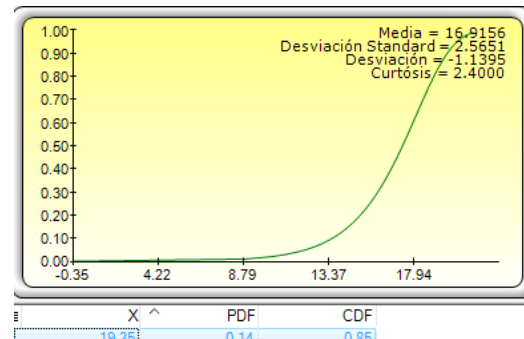
$$\sqrt{\frac{ab}{a+b}} D_{a,b} > KS_{\alpha} \text{ (Mun, 2012)}$$

Además, tras ajustar los datos a una distribución de probabilidad dada se generara la curva de función de distribución acumulada CDF (*Cumulative Distribution Function*) con ayuda del software *@risk simulator*, evaluando una probabilidad de no excedencia del 85%, se obtienen entonces las siguientes distribuciones de probabilidad, así como las siguientes graficas CDF para las variables estudiadas:

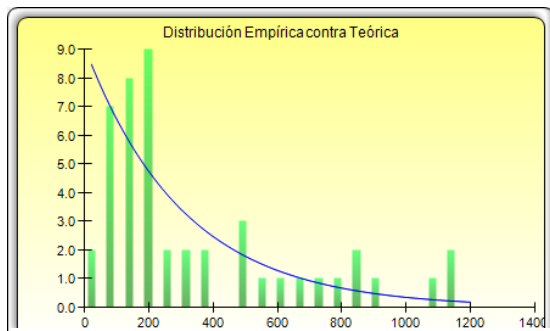
A. Variables ambientales



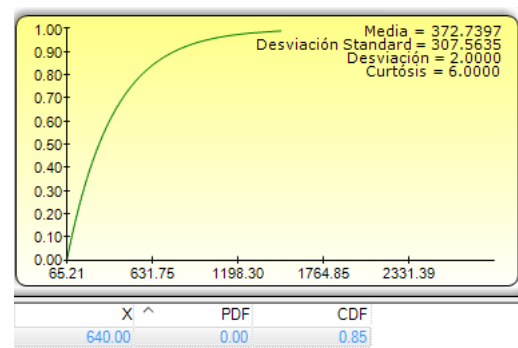
Gráfica 39, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Índice de Calor [Gumbel Mínimo]



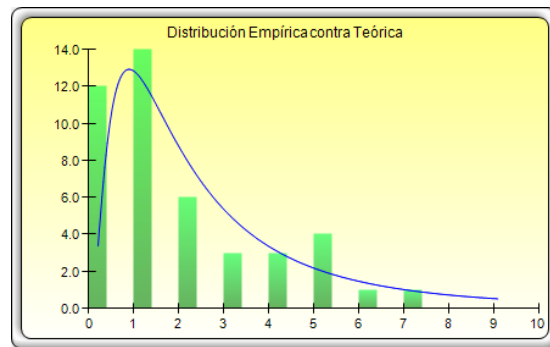
Gráfica 40, distribución acumulada CDF de Índice de Calor, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



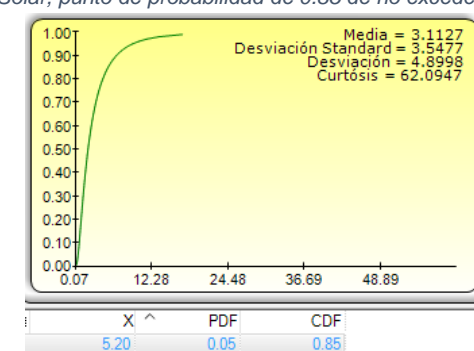
Gráfica 41, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Radiación Solar [Exponencial Desplazada]



Gráfica 42, distribución acumulada CDF de Radiación Solar, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



Gráfica 43, distribución de probabilidad de ajuste teórica de Energía Solar [Logarítmica Normal]



Gráfica 44, distribución acumulada CDF de Energía Solar, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

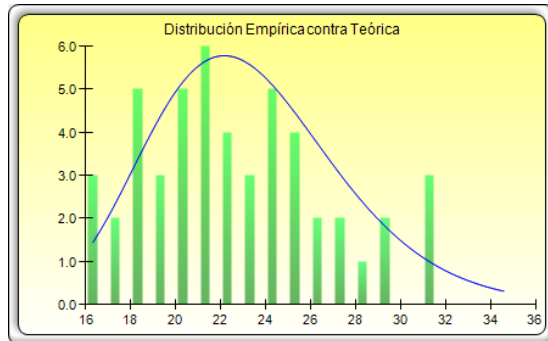
- Se evidencia que las variables ambientales de las cuales se sospecha están implicadas en el comportamiento térmico de los materiales analizados en cuestión, debido a principios de balance y equilibrio energético, tiene las siguientes tendencias a nivel local.
 - Índice de calor: presenta un ajuste acorde a una distribución Gumbel mínimo, que se ajusta acorde a lo esperado de una variable cuyo comportamiento obedece a la naturaleza, en donde se evidencia un rango dado de valores típicos y una cola pronunciada hacia el lado izquierdo, de la cual se puede inferir la baja probabilidad de ocurrencia de valores atípicos extremos con magnitudes menores al rango anteriormente mencionado, lo cual permite pensar la homogeneidad del comportamiento de esta variable.
 - Radiación Solar²: se ajusta a una distribución exponencial desplazada, lo que indica que a nivel local la radiación solar incidente no depende del comportamiento de esta misma variable en el pasado, lo cual es particular, ya que se esperaría la magnitud de energía en forma de radiación solar que llega a un sitio determinado día tras día fuese relativamente homogénea, no

² La variable no se ajustó al nivel de confianza esperado según los supuestos planteados en la sección Variables de la investigación, se recomienda entonces para estudios futuros aumentar el tamaño de la muestra, en este caso se está aceptando una confianza menor a la inicialmente definida en la sección Variables de la investigación,

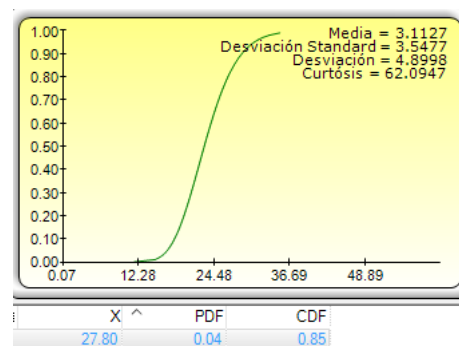
obstante es posible justificar dicho comportamiento a través del nivel de insolación, en donde este parámetro puede ser altamente sensible a las condiciones meteorológicas en cuestión.

- Energía solar³: se ajusta a una distribución logarítmica normal, lo cual es de esperarse ya que es una distribución de probabilidad que asume que los valores obtenidos siempre serán positivos, lo cual es lógico al recibir en todo momento alguna porción de energía por parte del sol, además es acorde ya que los parámetros que rigen la energía solar dependen de una gran cantidad de aleatorios como lo son las condiciones meteorológicas, la insolación bajo la cual está sometida el área en la cual se mide, la posición relativa del planeta, entre otros, y finalmente es una distribución en donde la media es mayor a la mediana, lo cual da más importancia a los valores grandes respecto a una distribución normal, tendiendo entonces a ser pesimista al enfrentarnos a valores altos, lo cual es relevante en el efecto de isla de calor.

B. Grama



Gráfica 45, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de grama [Logarítmica Normal]



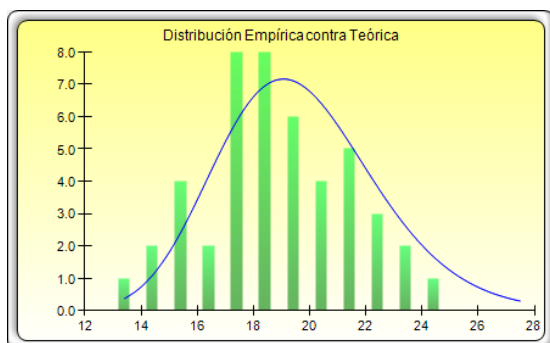
Gráfica 46, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de grama, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

De nuevo la grama es la base respecto a la cual se compararan las muestras, en donde se evidencia que las temperaturas siguen una distribución logarítmica normal, y de la distribución de probabilidad acumulada se ve que para el percentil P85 el valor de no excedencia corresponde a 27.8 °C

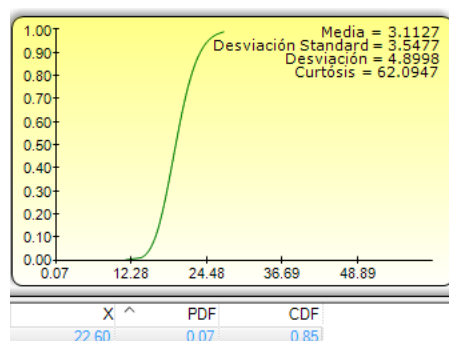
³ La variable no se ajustó al nivel de confianza esperado según los supuestos planteados en la sección Variables de la investigación, se recomienda entonces para estudios futuros aumentar el tamaño de la muestra, en este caso se está aceptando una confianza menor a la inicialmente definida en la sección Variables de la investigación,

C. Fachadas

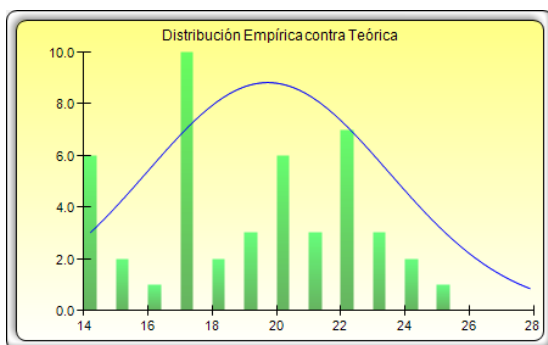
Fachadas Hacia el oriente



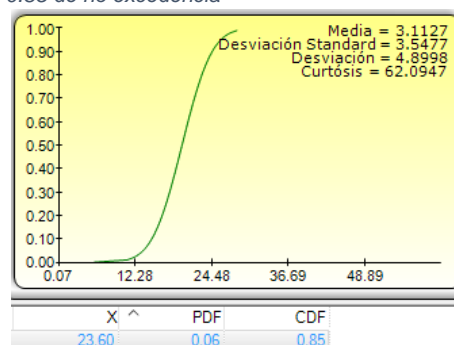
Gráfica 47, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el oriente [Logarítmica Normal]



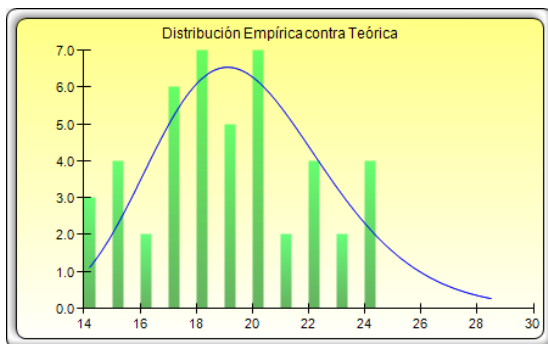
Gráfica 48, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



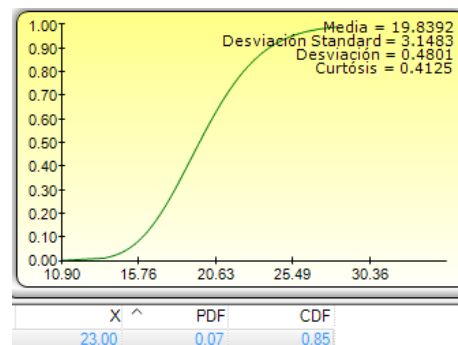
Gráfica 49, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el oriente [Normal]



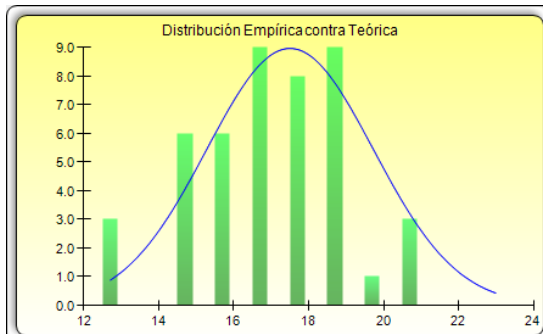
Gráfica 50, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



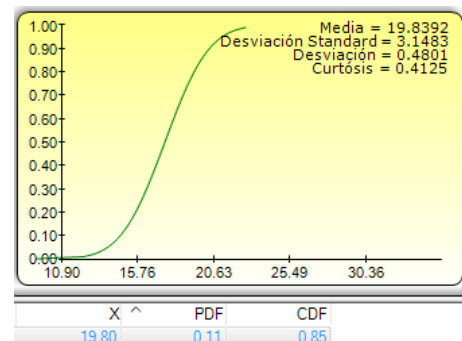
Gráfica 51, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque hacia el oriente [Logarítmica Normal]



Gráfica 52, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

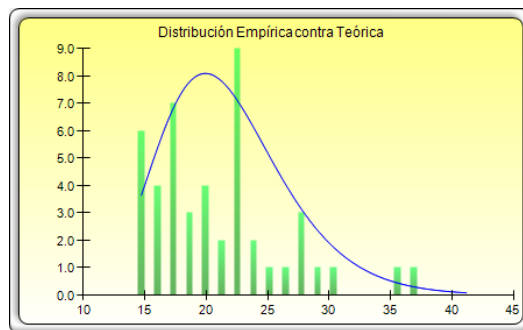


Gráfica 53, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el oriente [Logarítmica Normal]

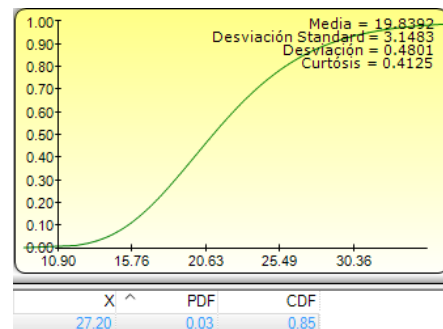


Gráfica 54, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el oriente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

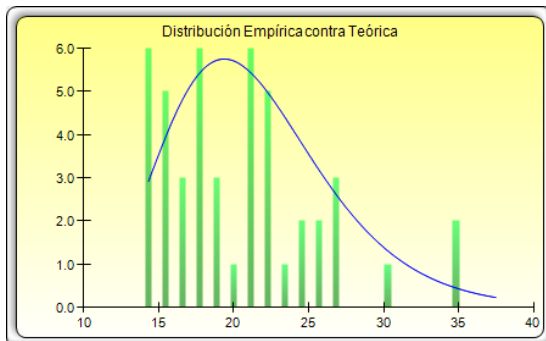
Fachadas Hacia el occidente



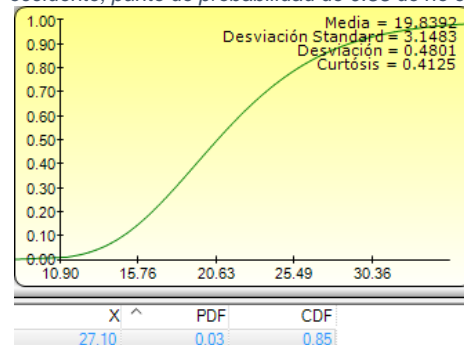
Gráfica 55, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el occidente [Logarítmica Normal]



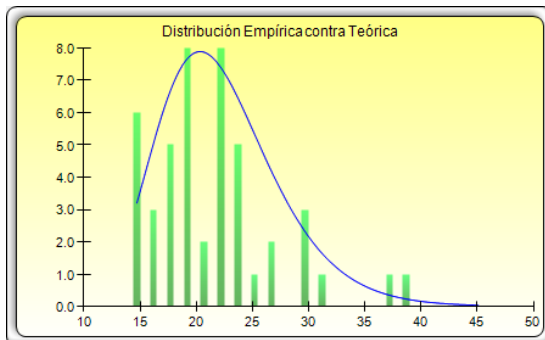
Gráfica 56, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán oscuro hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



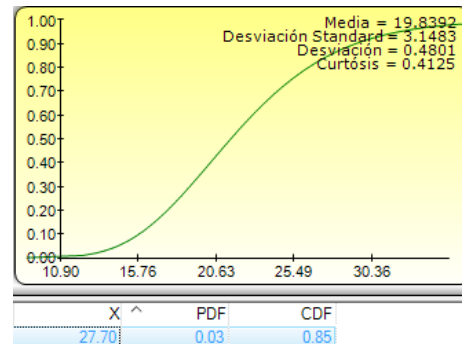
Gráfica 58, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el occidente [Logarítmica Normal]



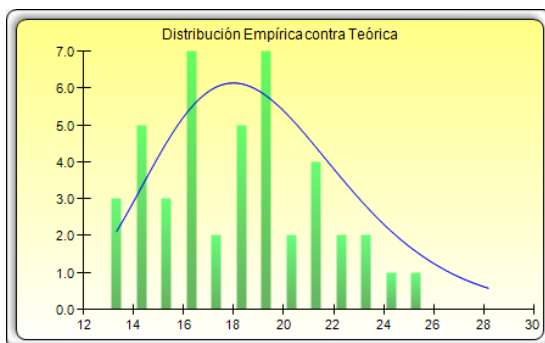
Gráfica 57, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de ladrillo catalán claro hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



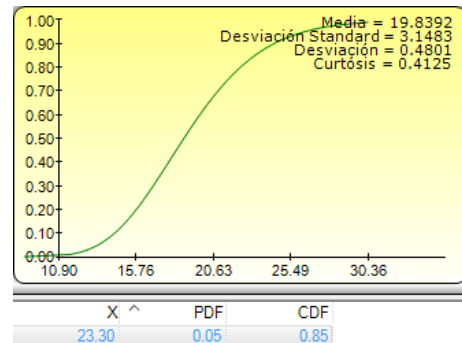
Gráfica 59, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque hacia el occidente [Logarítmica Normal]



Gráfica 60, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



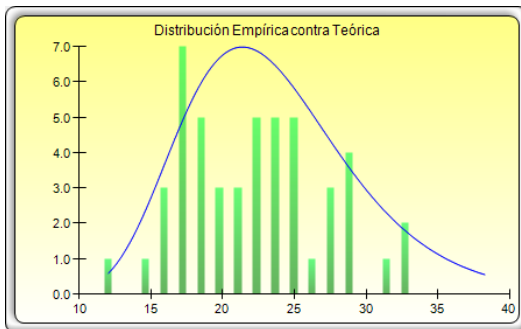
Gráfica 61, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el occidente [Logarítmica Normal]



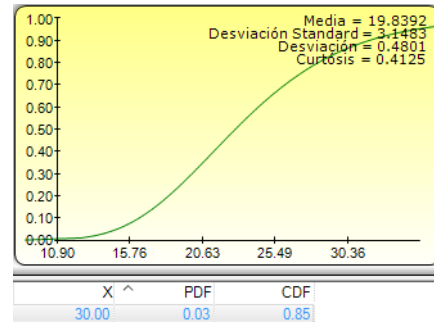
Gráfica 62, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Bloque Blanco hacia el occidente, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

Los gráficos muestran que las muestras ubicadas en dirección de fachada siguen distribuciones de probabilidad de tipo normal y logarítmica normal, por lo cual los valores esperados posiblemente tomaran valores cercanos a la media de la distribución teórica a la cual se ajustan las temperaturas, además se observa de las funciones de distribución acumuladas que para el percentil P85 el valor de no excedencia de las muestras de fachada son menores a los de la cobertura natural, por lo cual se corrobora que el aporte de las fachadas al efecto de isla de calor no es significativo.

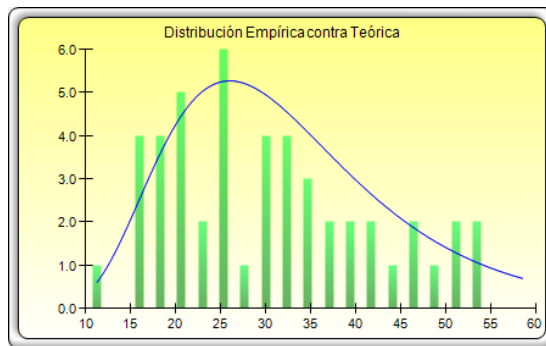
D. Cubiertas



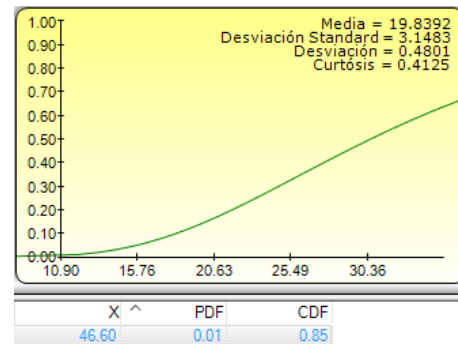
Gráfica 63, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Ladrillo Catalán Oscuro (símil teja de barro) [Logarítmica Normal]



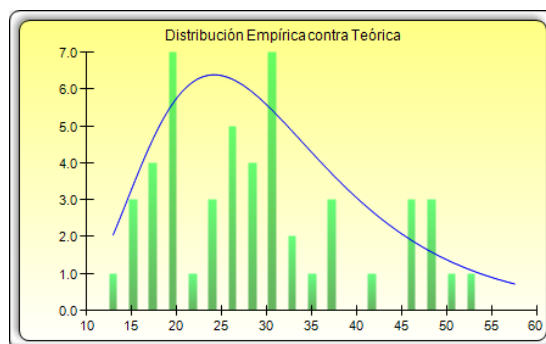
Gráfica 64, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Ladrillo Catalán Oscuro (símil teja de barro), punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



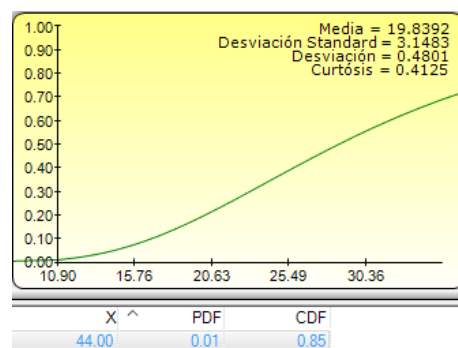
Gráfica 65, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Roja Onduville [Logarítmica Normal]



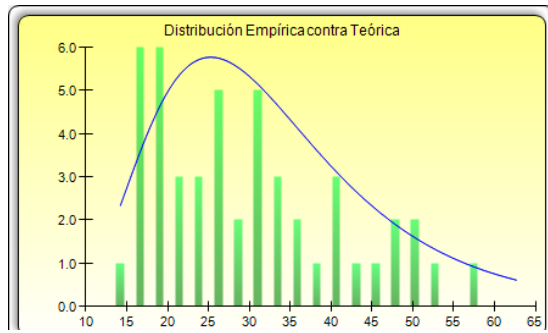
Gráfica 66, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Roja Onduville, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



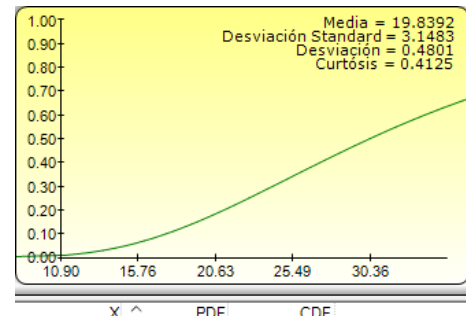
Gráfica 67, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Roja Viplast [Logarítmica Normal]



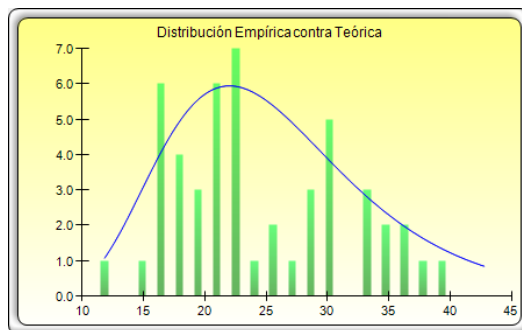
Gráfica 68, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Roja Viplast, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



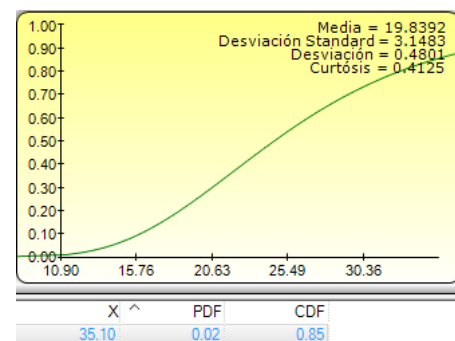
Gráfica 69, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Verde Gravillada [Logarítmica Normal]



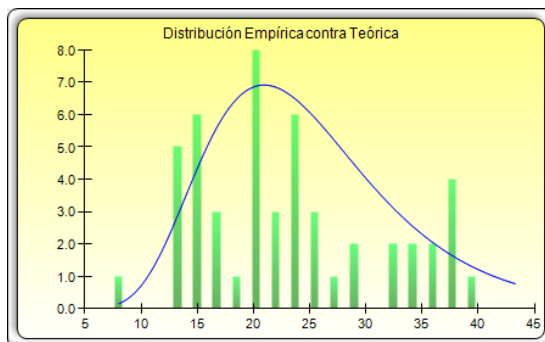
Gráfica 70, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Verde Gravillada, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



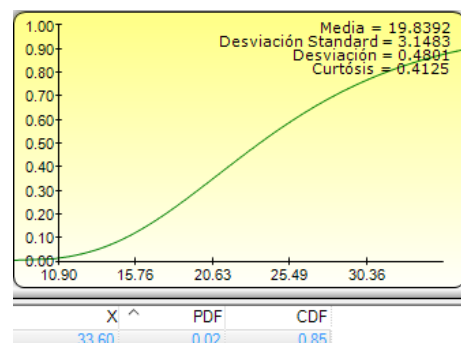
Gráfica 71, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja de Eternit [Logarítmica Normal]



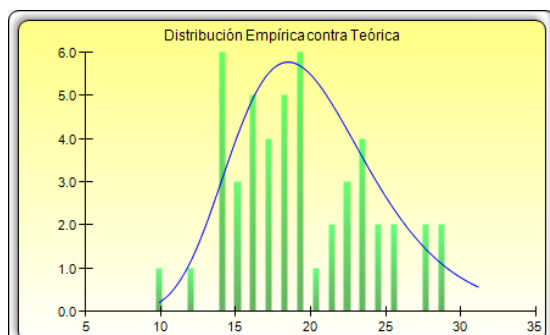
Gráfica 72, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja de Eternit, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



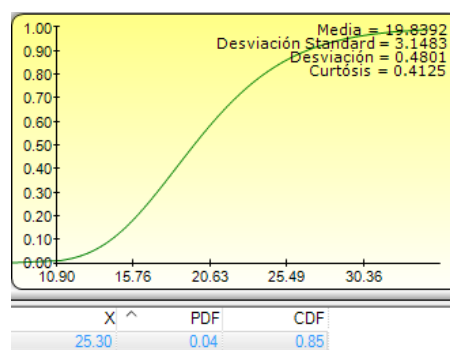
Gráfica 73, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja con aislante de Poliuretano [Logarítmica Normal]



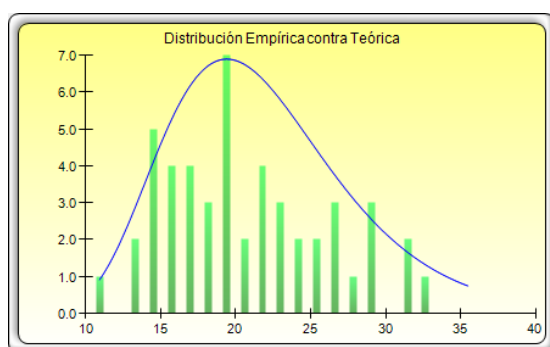
Gráfica 74, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja con aislante de Poliuretano, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



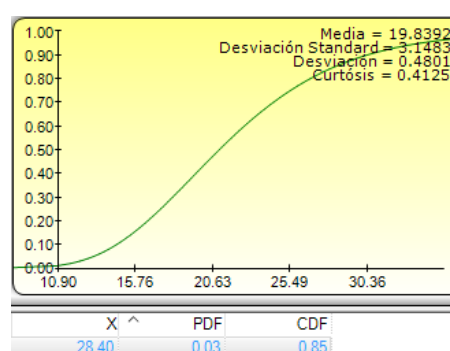
Gráfica 75, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja UPVC con aislante de fibra de carbono [Logarítmica Normal]



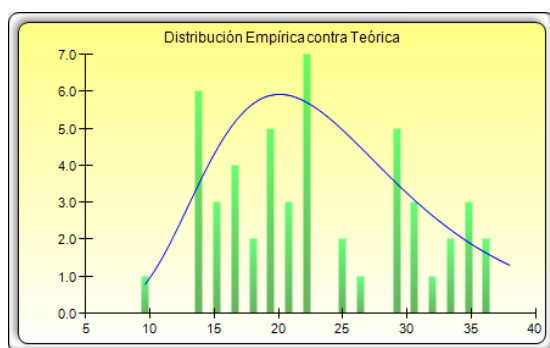
Gráfica 76, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja UPVC con aislante de fibra de carbono, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



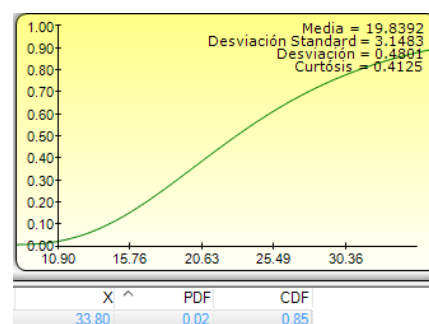
Gráfica 77, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Metálica blanca [Logarítmica Normal]



Gráfica 78, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Metálica blanca, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



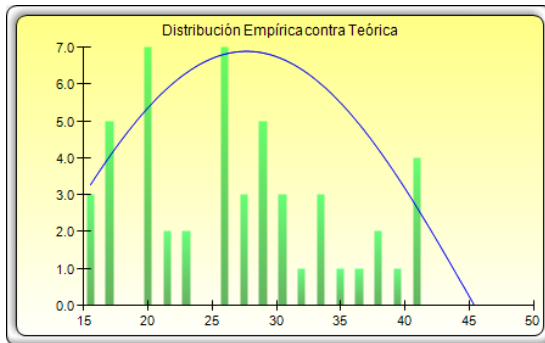
Gráfica 79, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Teja Standing Seam FV ATAC N°4 [Logarítmica Normal]



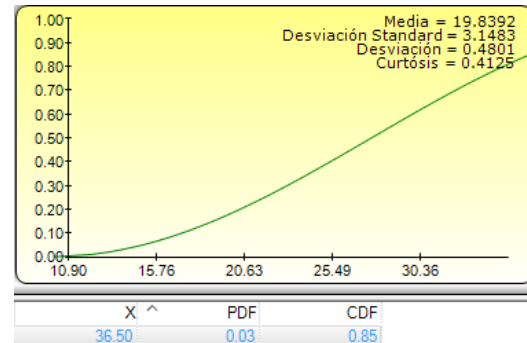
Gráfica 80, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Teja Standing Seam FV ATAC N°4, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

Se observa que las muestras dispuestas como cubiertas siguen un comportamiento tipo normal y logarítmico normal, lo cual, al igual que lo evidenciado en las fachadas, dan a entender que los valores encontrados tenderán a estar cercanos al valor de la media teórica de la distribución a la cual se ajustó cada muestra en particular. Se debe tener especial cuidado con los valores obtenidos del percentil P85 de cada muestra, ya que al ser el valor que permite comparar de forma directa el comportamiento térmico de cada muestra respecto a las demás, se evidencia que en términos generales todas las cubiertas tienden a tener valores superiores a la cobertura natural del terreno, lo cual es un indicador directo de que este tipo de cambio de uso del suelo impacta de forma significativa al efecto de isla de calor.

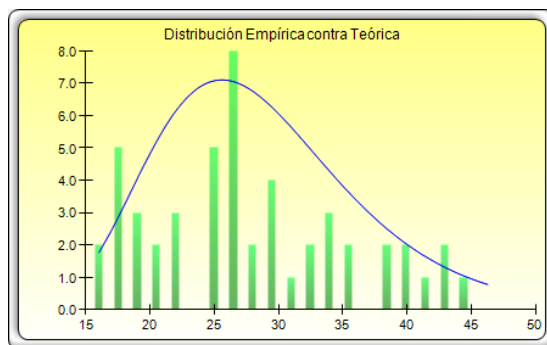
E. Pavimentos



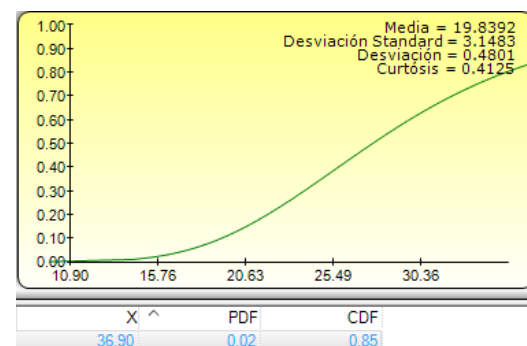
Gráfica 81, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color café [Coseno]



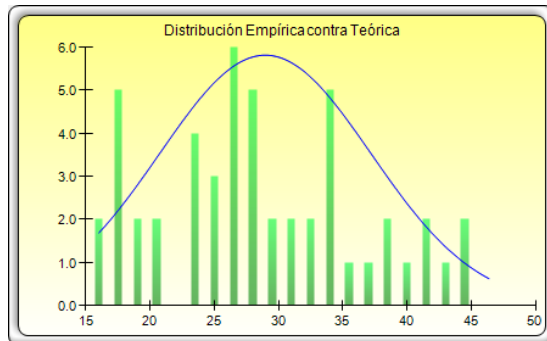
Gráfica 82, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color café, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



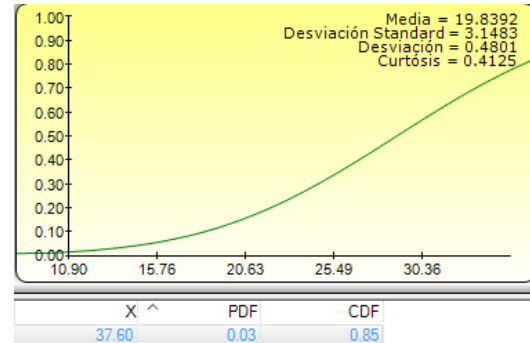
Gráfica 83, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color rojo [Logarítmica Normal]



Gráfica 84, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Mezcla Densa en Caliente color rojo, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia



Gráfica 85, distribución de probabilidad de ajuste teórica comportamiento térmico de Pavimento Microaglomerado en Caliente tipo F1 [Logarítmica Normal]



Gráfica 86, distribución acumulada CDF de comportamiento térmico de Pavimento Microaglomerado en Caliente tipo F1, punto de probabilidad de 0.85 de no excedencia

Del ajuste de las muestras de pavimentos se puede decir que la mezcla densa en caliente tipo MDC-3 sigue una distribución coseno, en donde a pesar de tener el menor valor de P85 de las tres muestras de pavimento en cuestión (36.5 °C), es el material de este grupo que en el cual se observa una mayor tendencia a ubicarse en valores altos, al contrario de la mezcla densa en caliente MDC-3 de color rojo y el microaglomerado en caliente tipo F1, los cuales tienden a la distribución logarítmica normal, en donde se observa una mayor concentración del rango de valores sobre la media teórica calculada.

También se observa que el valor del percentil P85 es muy superior al valor P85 de la cobertura natural, por ende se debe tener especial cuidado a la hora de ejecutar obras de infraestructura con estos materiales, ya que impactan de forma directa favoreciendo al efecto de isla de calor, además no se evidencia un material que destaque sobre los demás por potencial de mitigación.

Para el comportamiento térmico de los materiales se encontró que la gran mayoría de las muestras se ajustaron⁴ de forma acorde a la distribución logarítmica normal y normal, evidenciándose que la concentración de los valores respecto a la media es alta, ya que se obtuvieron valores de curtosis relativamente altos en términos generales, lo cual hace sospechar la homogeneidad en el comportamiento térmico de cada material, lo que hace posible asumir que al momento de comparar el desempeño térmico entre

⁴ Se debe tener especial cuidado con las distribuciones ajustadas de las muestras de Teja de Eternit, Teja con aislante de poliuretano y Teja aislante Standing sean FV ATAC N°4, ya que no se ajustaron con el nivel de confianza esperado, en este caso se está aceptando una confianza menor a la inicialmente definido en la sección Variables de la investigación.

muestras se tenga una idea acorde a la diferencia de temperaturas en un rango reducido respecto a la media.

Tabla 8, resumen estadístico de ajuste de datos

Parámetros estadísticos de datos observados										
Variable	Distribucion ajustada	Parámetros (en función de la distribución ajustada)		Estadístico KS	Valor P ajuste Kolmogorov-Smirnov	Media ajustada	Desviación estándar ajustada	Asimetría	Curtosis	Valor de no excedencia ajustado para el percentil 85
Índice de calor	Gumbel Mínimo	$\alpha=18.07$	$\beta=2$	0.06	0.99	16.9 °C	2.6 °C	-1.14	2.40	19.4 °C
Radiación solar	Exponencial desplazada	Ubicación=65.18	$\lambda=0.00$	0.09	0.80	372.74 Watt/m ²	307.56 Watt/m ²	2.00	6.00	640 Watt/m ²
Energía solar	Logarítmica normal	$\mu=3.11$	$\sigma=3.55$	0.09	0.85	3.1 Langley	3.5 Langley	4.90	62.09	5.2 Langley
Grana	Logarítmica normal	$\mu=23.31$	$\sigma=4.32$	0.04	1.00	23.3 °C	4.3 °C	0.56	0.57	27.8 °C
Ladrillo catalán oscuro oriente	Logarítmica normal	$\mu=19.67$	$\sigma=2.86$	0.06	0.99	19.7 °C	2.9 °C	0.44	0.34	22.6 °C
Ladrillo catalán claro oriente	Normal	$\mu=19.73$	$\sigma=3.77$	0.07	0.97	19.7 °C	3.8 °C	0.00	0.00	23.6 °C
Bloque oriente	Logarítmica normal	$\mu=19.84$	$\sigma=3.15$	0.06	0.99	19.8 °C	3.2 °C	0.48	0.41	23.0 °C
Bloque Blanco oriente	Normal	$\mu=17.50$	$\sigma=2.23$	0.07	0.95	17.5 °C	2.2 °C	0.00	0.00	19.8 °C
Ladrillo catalán oscuro occidente	Logarítmica normal	$\mu=21.73$	$\sigma=5.31$	0.07	0.95	21.7 °C	5.3 °C	0.75	1.01	27.2 °C
Ladrillo catalán claro occidente	Logarítmica normal	$\mu=21.42$	$\sigma=5.66$	0.08	0.93	21.4 °C	5.7 °C	0.81	1.19	27.1 °C
Bloque occidente	Logarítmica normal	$\mu=22.19$	$\sigma=5.44$	0.07	0.98	22.2 °C	5.4 °C	0.75	1.02	27.7 °C
Bloque Blanco occidente	Logarítmica normal	$\mu=19.17$	$\sigma=4.00$	0.05	0.99	19.2 °C	4.0 °C	0.63	0.73	23.3 °C
Ladrillo catalán oscuro (simil teja barro)	Logarítmica normal	$\mu=23.62$	$\sigma=6.21$	0.05	0.99	23.6 °C	6.2 °C	0.81	1.18	30.0 °C
Teja roja Onduvile	Logarítmica normal	$\mu=33.17$	$\sigma=13.92$	0.06	0.99	33.2 °C	13.9 °C	1.33	3.32	46.6 °C
Teja roja Viplast	Logarítmica normal	$\mu=31.28$	$\sigma=13.57$	0.07	0.97	31.3 °C	13.6 °C	1.38	3.59	44.0 °C
Teja verde gravillada	Logarítmica normal	$\mu=33.26$	$\sigma=14.91$	0.06	0.98	33.3 °C	14.9 °C	1.44	3.87	47.6 °C
Teja Eternit	Logarítmica normal	$\mu=26.07$	$\sigma=9.03$	0.08	0.88	26.1 °C	9.0 °C	1.08	2.14	35.1 °C
Teja con aislante de poliuretano	Logarítmica normal	$\mu=25.06$	$\sigma=8.93$	0.09	0.83	25.1 °C	8.9 °C	1.11	2.29	33.6 °C
Teja UPVC con aislante de fibra de carbono	Logarítmica normal	$\mu=20.20$	$\sigma=4.96$	0.07	0.96	20.2 °C	5.0 °C	0.75	1.02	25.3 °C
Teja metálica con recubrimiento blanco	Logarítmica normal	$\mu=21.94$	$\sigma=6.41$	0.05	0.99	21.9 °C	6.4 °C	0.90	1.48	28.4 °C
Teja aislante standing seam FV ATAC N°4	Logarítmica normal	$\mu=24.56$	$\sigma=9.31$	0.09	0.79	24.6 °C	9.3 °C	1.19	2.63	33.8 °C
Pavimento mezcla densa en caliente café	Coseno	mín=9.92	máx=45.40	0.07	0.93	27.7 °C	7.7 °C	0.00	-0.59	36.5 °C
Pavimento mezcla densa en caliente roja	Logarítmica normal	$\mu=28.81$	$\sigma=8.26$	0.07	0.96	28.8 °C	8.3 °C	0.88	1.42	36.9 °C
Pavimento microaglomerado en caliente	Normal	$\mu=28.97$	$\sigma=8.24$	0.07	0.97	29.0 °C	8.2 °C	0.00	0.00	37.6 °C

Se evidencia que algunos de los materiales no se ajustan a las distribuciones de probabilidad ya que el valor p se encuentra por debajo del valor del nivel de confianza esperado con las muestras obtenidas, no obstante se decide trabajar con las distribuciones obtenidos para generar un primer acercamiento del comportamiento de envoltentes a nivel local, los datos que no se ajustan se evidencian en color rojo en la Tabla 6, resumen estadístico de ajuste de datos.

○ Incidencia de variables externas a comportamiento térmico de materiales

Para evaluar la incidencia de las condiciones externas respecto al comportamiento térmico de los materiales se decide emplear la herramienta estadística de correlaciones, de donde al tener datos apareados de Índice de calor, Radiación Solar, Energía Solar y comportamiento térmico de materiales evaluados se evalúa la incidencia de los parámetros externos en el comportamiento térmico de los materiales en cuestión.

La herramienta de coeficiente de correlación empleada, consta de la expresión:

$$S_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{\mu}_x}{\widehat{\sigma}_x} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \bar{\mu}_y}{\widehat{\sigma}_y} \text{ (Dennis, Mendenhall, \& Scheaffer, 2002)}$$

Donde

S_{xy} es el coeficiente de correlación entre las variables x y y.

n Es el número de muestra, el cual corresponde al mismo valor para todas las variables al estar apareadas.

x_i es el i-esimo valor de la variable x

y_i es el i-esimo valor de la variable y

$\bar{\mu}_x$ es la media muestral de la variable x

$\bar{\mu}_y$ es la media muestral de la variable y

$\widehat{\sigma}_x$ es la desviación estándar muestral de la variable x

$\widehat{\sigma}_y$ es la desviación estándar muestral de la variable y

Tabla 9, coeficientes de correlación de las variables externas respecto al comportamiento térmico de los materiales evaluados

Coeficientes de correlación			
Material	Indice de calor	Radioación solar	Energía solar
Ladrillo Catalan Oscuro	0.662	0.416	0.415
Teja Roja Marca Onduville	0.655	0.664	0.663
Teja Roja Polipropileno Marca Viplast	0.706	0.740	0.739
Teja Verde Gravillada	0.679	0.648	0.646
Teja Eternit	0.757	0.600	0.600
Teja Aislamiento poliuretano	0.733	0.664	0.663
Teja UPVC con fibra de carbono	0.750	0.643	0.641
Teja Metalica recubrimiento blanco	0.728	0.666	0.665
Teja Standing Seam FV ATAC N°4 38mm	0.746	0.698	0.697
Gramma	0.750	0.569	0.569
Mezcla densa en caliente color Café	0.865	0.497	0.496
Mezcla densa en caliente color Rojo	0.842	0.489	0.489
Microaglomerado en caliente tipo F1	0.855	0.538	0.537
Ladrillo Catalan Oscuro Oriente	0.633	0.592	0.590
Ladrillo Catalan Claro Oriente	0.754	0.611	0.609
Bloque Sin recubrimiento Oriente	0.719	0.644	0.642
Bloque Pintado en blanco Oriente	0.721	0.568	0.565
Ladrillo Catalan Oscuro Occidente	0.810	0.304	0.303
Ladrillo Catalan Claro Occidente	0.823	0.285	0.285
Bloque Sin recubrimiento Occidente	0.796	0.255	0.254
Bloque Pintado en blanco Occidente	0.878	0.397	0.396

Se evidencia que todas las correlaciones generan números positivos, por lo cual se generan relaciones directamente proporcionales entre las variables evaluadas, además se hará especial énfasis en los valores que tienen una correlación mayor a 0.8, de la cual se hablara en el análisis del resultado en detalle.

○ **Contraste entre muestras**

Se evidencia en las gráficas de comportamiento obtenidas que hay una diferencia importante en la magnitud de los datos recolectados por lo general en horas cercanas al medio día, por otro lado se evidencia que los momentos en los cuales el comportamiento térmico de los materiales tiende a ser uniforme es a mediados de la tarde, aproximadamente en el lapso de tiempo comprendido entre las 14:40 y las 15:30, por lo cual se tomaran estos dos momentos para ver la relación que pueda existir entre los materiales en cuestión.

Para la comparación se recurrirá a la prueba T de *student*, de donde se trabajará con un nivel de significancia alfa del 5% ($\alpha = 0.05$)

La prueba en cuestión se realiza para evaluar diferencias estadísticas significativas, en donde se parte entonces de las siguientes hipótesis.

$H_0: \overline{\mu}_1 = \overline{\mu}_2$, por lo cual no se evidencian diferencias estadísticamente significativas.

$H_a: \overline{\mu}_1 \neq \overline{\mu}_2$, por lo cual se evidencia que efectivamente existen diferencias estadísticamente significativas

En donde sí se rechaza la hipótesis nula se afirma que hay una diferencia estadística significativa con un nivel de confianza del 95%

La prueba T de *student* trabaja contrastando un valor $T_{calculada}$ respecto a un valor T_{tabla} obtenido de la tabulación de la distribución T, en donde se comparan estos valores para evidenciar el nivel de azar en la relación entre datos, en donde cuando $T_{calculada} > T_{tabla}$ significa que se rechaza la hipótesis nula por lo cual hay diferencia significativa, por otro lado cuando $T_{calculada} < T_{tabla}$ es muy posible que el comportamiento de los datos responda al azar.

Entonces se tiene que

$$T_c = \frac{|\overline{\mu}_1 - \overline{\mu}_2|}{SE}$$

De donde

$\overline{\mu}_1$ y $\overline{\mu}_2$ son las medias muestrales de las variables a contrastar

SE es el error estadístico que está dado en función de los tamaños muestrales y las desviaciones estándar así:

$$SE = \sqrt{\frac{\widehat{\sigma}_1^2}{N_1} + \frac{\widehat{\sigma}_2^2}{N_2}}$$

Se anexa tabla con resultados estadísticos obtenidos, se debe tener en cuenta que se evidenciaron diferencias entre las varianzas, por lo cual se corrió el caso con este supuesto, además se evidencia que la relación de temperatura esta sesgada a una cola, por lo cual se comparará la $T_{calculada}$ con la T_{tabla} de una cola.

Los resultados obtenidos para la prueba de hipótesis entonces muestran las siguientes diferencias estadísticas significativas expresadas en diferencia entre medias.

A. Fachadas.

- **Fachada hacia el oriente**

Tabla 10, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada oriente 12:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 12:00) Fachada oriente				
	Ladrillo catalán oscuro	Ladrillo catalán claro	Bloque	Bloque blanco
Ladrillo catalán oscuro				
Ladrillo catalán claro	-			
Bloque	-	-		
Bloque blanco	2.5 °C	3.2 °C	3.0 °C	

Tras realizar la comparación entre materiales de fachada ubicados hacia el oriente, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre la temperatura media del bloque blanco respecto a los demás materiales. Esto indica la capacidad de mitigación del color blanco al efecto isla de calor, además se evidencia que el material con desempeño más desfavorable en esta orientación es el ladrillo catalán claro.

Tabla 11, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada oriente 15:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 15:00) Fachada oriente				
	Ladrillo catalán oscuro	Ladrillo catalán claro	Bloque	Bloque blanco
Ladrillo catalán oscuro				
Ladrillo catalán claro	-			
Bloque	-	-		
Bloque blanco	-	-	-	

Se evidencia que para las horas de la tarde, no existen diferencias estadísticamente significativas en la temperatura media de los materiales, lo cual da cabida a pensar que la fachada hacia el oriente no presenta un aporte significativo al efecto de isla de calor en horas de la tarde.

- **Fachada hacia el occidente**

Tabla 12, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada occidente 12:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 12:00) Fachada occidente				
	Ladrillo catalán oscuro	Ladrillo catalán claro	Bloque	Bloque blanco
Ladrillo catalán oscuro				
Ladrillo catalán claro	-			
Bloque	-	-		
Bloque blanco	-	-	-	

Se evidencia que la fachada occidente no presenta variaciones significativas en su temperatura. Por ende se presume que cualquier material a emplear en la construcción es adecuado se debe considerar que esta orientación discrepa respecto a lo que se esperaría encontrar en una cobertura natural. Entonces se debe evaluar el comportamiento observado en el presente respecto a las temperaturas medias típicas de zonas arborizadas en la región, para ver un resultado más específico que permita medir la incidencia de los materiales evaluados.

Tabla 13, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso fachada occidente 15:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 15:00) Fachada occidente				
	Ladrillo catalán oscuro	Ladrillo catalán claro	Bloque	Bloque blanco
Ladrillo catalán oscuro				
Ladrillo catalán claro	-			
Bloque	-	-		
Bloque blanco	5.4 °C	-	-	

Nuevamente se observa un comportamiento favorable del bloque blanco, esta vez respecto al ladrillo catalán oscuro. Además la diferencia además de ser estadísticamente significativa tiene una magnitud alta, lo cual indica que se deben evitar fachadas de ladrillo catalán oscuro en la medida de lo posible.

B. Cubiertas

Tabla 14, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso cubierta 12:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 12:00) Cubiertas										
	Catalán oscuro	Teja roja Onduville	Teja roja Viplast	Teja verde gravillada	Teja Eternit	Teja aislante Poliuretano	Teja UPVC y fibra de carbono	Teja Blanca	Teja standing seam	Gramma
Catalán oscuro										
Teja roja Onduville	9.9 °C									
Teja roja Viplast	7.5 °C	-								
Teja verde gravillada	11.1 °C	-	-							
Teja Eternit	-	-	-	9.1 °C						
Teja aislante Poliuretano	-	-	-	10.7 °C	-					
Teja UPVC y fibra de carbono	-	13.7 °C	11.3 °C	14.9 °C	5.8 °C	-				
Teja Blanca	-	11.9 °C	9.5 °C	13.1 °C	-	-	-			
Teja standing seam	-	9.9 °C	-	11.1 °C	-	-	-	-		
Gramma	-	10.5 °C	8.1 °C	11.7 °C	-	-	-	-	-	

Respecto a las cubiertas, en horas de la mañana, se evidencia que la teja gravillada tiende a una temperatura media muy superior al resto de las envolventes empleadas. Por otro lado se evidencia que tanto las tejas UPVC con fibra de carbono, así como la teja de barro presentan un desempeño que incide en la mitigación del efecto de isla de calor urbana de forma importante.

Tabla 15, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso cubierta 15:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 15:00) Cubiertas										
	Catalán oscuro	Teja roja Onduville	Teja roja Viplast	Teja verde gravillada	Teja Eternit	Teja aislante Poliuretano	Teja UPVC y fibra de carbono	Teja Blanca	Teja standing seam	Gramma
Catalán oscuro										
Teja roja Onduville	-									
Teja roja Viplast	-	-								
Teja verde gravillada	-	-	-							
Teja Eternit	-	-	-	-						
Teja aislante Poliuretano	-	-	-	-	-					
Teja UPVC y fibra de carbono	-	9.8 °C	-	9.1 °C	5.6 °C	-				
Teja Blanca	-	8.3 °C	6.4 °C	7.6 °C	-	-	-			
Teja standing seam	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gramma	-	-	-	-	-	-	3.7 °C	-	-	

Se observa la continuidad de la tendencia observada en horas de la mañana. No obstante, se evidencia que las diferencias en órdenes de magnitud en términos generales son significativamente menores, esto responde a la capacidad de disipación de energía de forma rápida por parte de los materiales evaluados.

C. pavimentos

Tabla 16 de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso pavimentos 12:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 12:00) Pavimentos				
	Mezcla densa en caliente café	Mezcla densa en caliente roja	Microaglomerado en calient tipo F1	Gramma
Mezcla densa en caliente café				
Mezcla densa en caliente roja	-			
Microaglomerado en calient tipo F1	-	-		
Gramma	6.4	6.7	7.8	

Se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas en la temperatura media de los materiales de pavimento empleados, no obstante se observa una diferencia importante respecto a la cobertura natural.

Tabla 17, matriz de diferencia de medias de temperatura encontradas con una confianza del 95% por medio de una prueba T de varianzas diferentes y sesgo de una cola, caso pavimentos 15:00

Diferencia de medias en donde se rechaza la hipótesis nula según prueba T (caso 15:00) Pavimentos				
	Mezcla densa en caliente café	Mezcla densa en caliente roja	Microaglomerado en calient tipo F1	Gramma
Mezcla densa en caliente café				
Mezcla densa en caliente roja	-			
Microaglomerado en calient tipo F1	-	-		
Gramma	5.0	6.2	6.4	

2.6 COMPARACIÓN Y RECOMENDACIÓN DE ENVOLVENTE

Según lo observado en las secciones 2.3.1 y 2.3.2, se logra forjar una metodología que permite comparar el desempeño térmico de los materiales estudiados, de donde mediante las curvas de comportamiento térmico diurno parciales generadas diariamente es posible visualizar de forma muy general la tendencia de cada material en cuestión ante cierta condición ambiental externa, identificando la incidencia de las condiciones climáticas a el comportamiento de cada muestra en cuestión.

Además con los datos obtenidos es posible realizar un ajuste a una distribución dada, lo cual permite caracterizar el comportamiento térmico, así como la tendencia esperada de cada muestra seleccionada, para entender de forma más acorde la incidencia del uso de cada envolvente a nivel local en el efecto de isla de calor. Para el estudio en cuestión, en donde se evidenciaron los ajustes de probabilidad en la Tabla 7, resumen estadístico de ajuste de datos, se puede inferir lo siguiente del comportamiento encontrado de las variables de interés acotadas, de donde la variable independiente es el tiempo.

Conociendo la distribución a la cual se ajusta el comportamiento térmico de los materiales (como se mostró en el capítulo Ajuste de distribución y valor máximo esperado) es posible conocer el valor de no excedencia para un percentil dado a través de la función acumulada de distribución CDF, lo cual permite una primera comparación de forma directa del desempeño térmico esperado de los materiales, lo cual genera un primer criterio de selección relevante, para el caso particular se decide evaluar el percentil P85, esto se debe al tamaño de la muestra, lo cual a criterio personal obliga emplear una posición conservadora.

De las distribuciones CDF generadas en la sección Técnicas para análisis de la información se evidencian los siguientes comportamientos de las muestras estudiadas, que tras contrastar respecto al desempeño térmico de la cubierta natural (grama) en el percentil P85, se efectúa una primera clasificación, así:

- Materiales potencial de impulsar al efecto isla de calor por comparación de percentiles: ladrillo catalán oscuro (símil de teja de barro, teja roja Onduville, teja roja Viplast, teja verde gravillada, teja Eternit, teja con aislante de poliuretano, teja metálica con recubrimiento blanco, teja aislante standing sean FV ATAC N°4, pavimento mezcla densa en caliente color café, pavimento mezcla densa en caliente color rojo y pavimento microaglomerado tipo F1. Esto se debe a que los valores encontrados para el percentil P85 son mucho mayores al P85 de la cobertura natural, esto indica que realizando una comparación directa los valores de no excedencia de las muestras aquí enlistadas toman un valor en magnitud mayor al de la cobertura natural, lo cual aporta al efecto de isla de calor.
- Materiales mitigantes del efecto isla de calor por comparación de percentiles: materiales orientados verticalmente (fachadas) y teja UPVC con aislante de fibra de carbono, al contrario del grupo anterior, el valor del percentil P85 es menor al de la cobertura natural, lo cual indica un efecto potencial de mitigación del efecto de isla de calor.

Se realiza posteriormente una segunda clasificación en función de la relación entre las variables ambientales y el comportamiento térmico de las muestras estudiadas, con base en la Tabla 8, coeficientes de correlación de las variables externas respecto al comportamiento térmico de los materiales evaluados, en donde se evidencia una correlación positiva entre todas las variables ambientales y el comportamiento térmico de las muestras estudiadas, lo cual muestra la relación directamente proporcional entre las variables ambientales y el comportamiento térmico de los materiales, evidenciándose la incidencia del ambiente en el material, se evidencia además que la variable más relevante en este caso particular es el índice de calor, seguido por la radiación solar y finalmente por la energía solar, para la segunda clasificación se tendrá como criterio una excedencia en el valor de correlación $S_{xy} > 0.8$, como parámetro de especial atención, como significativo para el nivel de confianza y margen de error obtenidos del presente trabajo, al representar una relación estrecha entre las variables.

- Materiales potencial de impulsar al efecto isla de calor por coeficiente de correlación: pavimento mezcla densa en caliente color café, pavimento mezcla densa en caliente color rojo, pavimento microaglomerado tipo F1, ladrillo catalán oscuro orientado al occidente, ladrillo catalán claro orientado al occidente y bloque blanco orientado al occidente.

- Materiales mitigantes del efecto isla de calor por coeficiente de correlación: ladrillo catalán oscuro (símil teja de barro), teja roja Onduville, teja roja Viplast, teja verde gravillada, teja Eternit, teja con aislante de poliuretano, teja UPVC con fibra de carbono, teja metálica con recubrimiento blanco teja metálica con recubrimiento blanco, teja aislante standing sean FV ATAC N°4 y fachada dispuesta hacia el oriente.

Conociendo estas dos clasificaciones se plantea entonces la ejecución de una matriz de resultados, en donde se asignaran valores de 1 a 10, siendo 1 el caso de mayor potencial de impulsar al efecto de isla de calor y 10 el caso de mayor potencial mitigante del efecto de isla de calor en función de los resultados estadísticos obtenidos en la sección Técnicas para análisis de la información, en donde los puntajes se asignaran de la siguiente manera:

Para el factor de mitigación por percentiles se asignara la puntuación más alta (10) a los materiales que presente un desempeño térmico cuyo valor de temperatura de no excedencia vista desde el percentil P85 sea menor que el de la cobertura natural ($temperatura_{muestra\ x} < temperatura_{cubierta\ natural}$), además debido a la tendencia observada en los datos para las muestras ubicadas horizontalmente se empleara un factor de corrección para la calificación, de donde el punto de corte de la mejor puntuación estará dado por la expresión

$$\frac{\sum_{i=1}^n temperatura\ muestra\ aislante\ i}{i}$$

A este rubro se le asigna un peso del 60%, ya que la diferencia de temperaturas respecto a la cobertura natural es un factor determinante que puede aportar o mitigar al efecto isla de calor, ya que a mayor temperatura a nivel superficial, por equilibrio térmico, habrá un mayor aporte de energía en forma de radiación de onda larga en forma de calor al ambiente circundante, lo cual generara entonces un aumento de temperatura en el ambiente.

Para el factor de correlación de variables ambientales respecto al comportamiento de las muestras estudiadas se asignara el mayor puntaje al coeficiente de correlación más bajo respecto a cada una de las variables ambientales, en donde el peso de la relación de cada variable ambiental respecto al comportamiento térmico de los materiales estará dado por el porcentaje de participación de la media de la variable ambiental respecto a la suma de las medias de las variables ambientales, según la siguiente expresión:

$$\frac{\sum_{j=1}^n \mu_{variable\ ambiental}}{j}$$

Además con base a los resultados obtenidos de los datos medidos es evidente que la temperatura de todos los materiales está estrechamente relacionados con las variables

ambientales, por lo cual se empleara también un factor de corrección para la calificación, en donde el valor de coeficiente de correlación más bajo estará regido por la expresión

$$\frac{\sum_{k=1}^n \text{temperatura}_{\text{muestra cuyo } S_{xy} < 0.8}}{k}$$

A este rubro se le asigna un peso del 40%

Finalmente para asignar los valores de calificación se empleara interpolación lineal en donde se asigna el valor de 10 al valor que más se ajuste al criterio de mejor calificación, así mismo se hará lo propio asignando el valor de 1 al valor con menor ajuste al criterio de calificación, se debe ponderar además según el peso de cada ítem.

Tabla 18, matriz de decisión de envolvente

Matriz de decisión					
Material/Criterio	Mitigación por percentiles	Correlacion Indice de calor	Correlación Radiación Solar	Correlación Energía Solar	Total
Fachada Oriente					
Ladrillo catalán oscuro	6.00	1.59	0.95	0.96	9.50
Ladrillo catalán claro	6.00	1.25	0.85	0.85	8.95
Bloque	6.00	1.59	0.66	0.67	8.92
Bloque Blanco	6.00	1.57	1.09	1.10	9.76
Fachada Occidente					
Ladrillo catalán oscuro	6.00	0.70	1.21	1.20	9.11
Ladrillo catalán claro	6.00	0.57	1.21	1.20	8.98
Bloque	6.00	0.83	1.21	1.20	9.25
Bloque Blanco	6.00	0.04	1.21	1.20	8.45
Cubierta					
Ladrillo Catalan Oscuro (símil teja de barro)	6.00	1.59	1.21	1.20	10.00
Teja Roja Marca Onduvile	0.91	1.59	0.55	0.55	3.59
Teja Roja Polipropileno Marca Viplast	1.72	1.59	0.12	0.12	3.55
Teja Verde Gravillada	0.60	1.59	0.64	0.64	3.47
Teja Eternit	4.50	1.22	0.91	0.90	7.52
Teja Aislamiento poliuretano	4.96	1.45	0.55	0.55	7.52
Teja UPVC con fibra de carbono	6.00	1.29	0.67	0.67	8.62
Teja Metalica recubrimiento blanco	6.58	1.51	0.54	0.54	9.17
Teja Standing Seam FV ATAC N°4 38mm	4.90	1.33	0.36	0.35	6.94
Pavimentos					
Mezcla densa en caliente color Café	4.06	0.16	1.21	1.20	6.63
Mezcla densa en caliente color Rojo	3.94	0.38	1.21	1.20	6.73
Microaglomerado en caliente tipo F1	3.72	0.26	1.21	1.20	6.39

Se evidencia que la matriz planteada de toma de decisión genera un primer criterio para la toma de decisión, no obstante se considera necesario validar la información por medio del contraste del comportamiento térmico de las muestras de cada material mediante pruebas de comparación de medias T de *student*, para evaluar si hay diferencias estadísticamente significativas, esto con el fin de disminuir la posibilidad de una calificación sesgada por el error estadístico debido a la variabilidad de los datos tomados, así como de los supuestos realizados para ajustar los datos a distribuciones de probabilidad.

Para la validación se emplearan las matrices de relación entre variables presentes en la sección Contraste entre muestras, de donde se puede inferir que para cada uno de los grupos se tiene:

- **FACHADAS**

Según la matriz de decisión el uso de algún material en particular no es relevante para el efecto de “isla de calor” ya que el aporte de energía en forma de calor al ambiente de estas muestras es nulo al generar un delta de temperatura negativo, además se observa que el valor del percentil P85 es menor en todas las muestras al de la cobertura natural, por lo cual se espera que el comportamiento térmico de este tipo de envolvente sea siempre menor al de la cobertura natural, además se evidencia de las pruebas T que dicha suposición es verídica, no obstante se evidencia de la Tabla 9 que es recomendable el uso de bloque con recubrimiento de pintura blanca sobre los otros materiales evaluados para maximizar el potencial de mitigación de este tipo de envolvente.

- **CUBIERTAS**

Para las cubiertas según la matriz de decisión se evidencia que los materiales con mejor desempeño térmico a lo largo del estudio fueron el ladrillo catalán oscuro (símil de teja de barro), la teja metálica con recubrimiento blanco y la teja UPVC con fibra de carbono en ese respectivo orden, además se evidencia que la teja roja Onduville, teja roja Viplast y la teja verde gravillada deben ser evitadas en la medida de lo posible, esta información es concordante con la arrojada en las matrices de relación de las pruebas T ejecutadas mostradas en las tablas Tabla 13 y Tabla 14. Estas observaciones están soportadas por el hecho de que evaluando los casos particulares se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales enunciados, en donde los órdenes de magnitud podían diferir en más de 10 °C, por ejemplo entre la teja verde gravillada respecto a la teja UPVC con fibra de carbono, además se evidencia que todas las muestras alternativas con potencial de mitigación al efecto de isla de calor son de color blanco, esto indica que el color blanco es recomendado ya que aumenta la reflectividad de la envolvente utilizada, lo cual a su vez causa una disminución en la absorptividad de la misma, lo cual finalmente se traduce en una menor cantidad de energía a transferir al ambiente por parte de la envolvente como tal, lo cual finalmente se interpreta como potencial de mitigación al efecto de isla de calor. Aquí puedes poner observaciones de porque una es mejor que la otra, el blanco es recomendado por la reflectancia que genera del calor, etc.

- **PAVIMENTOS**

Para los pavimentos se evidencia de la matriz de decisión que no hay diferencia a grandes rasgos del uso de una mezcla determinada sobre las demás, observación que se afirma en las pruebas T realizadas en las tablas Tabla 15 y Tabla 16, cuyo resultado muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre el comportamiento térmico de estos materiales, no obstante es importante observar que el pavimento genera un gran impacto al efecto isla de calor, ya que si se ven diferencias significativas marcadas entre este material y el comportamiento térmico de la cobertura natural.

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los datos obtenidos se clasifican en varios tipos de información, a saber: inicialmente se obtuvieron imágenes gráficas en las cuales se evidencian los cambios de comportamiento térmico de los materiales punto a punto, información obtenida en formato “.is2”, acorde a lo mostrado en las Figuras 47 a la67; se evidencia en las imágenes capturadas, la homogeneidad del comportamiento térmico del material aislante empleado, lo cual da garantía respecto de la independencia del comportamiento térmico de cada una de las muestras en particular entre las estudiadas, Otro factor a destacar es la homogeneidad de las temperaturas registradas a lo largo de toda la muestra estudiada, cuando no poseen irregularidades en superficie, caso contrario a las muestras que si poseen irregularidades, en donde se concentran mayores temperaturas en las zonas a un nivel menor respecto al resto de la muestra, cómo se puede evidenciar en las Figuras 57 y 58, parámetro que fue mitigado realizando la medición en estos casos en la zona de mayor temperatura, castigando el material, asumiendo que el comportamiento térmico responde a este valor máximo en toda la muestra para simplificar la comparación realizada posteriormente; también es posible observar, que las escalas de colores obtenidas en las imágenes gráficas difieren, debido a que para lograr una mayor exactitud por parte del equipo Fluke Ti100, se permitió el uso de la función de enfoque libre con escala automática-

De la toma de imágenes con el equipo en cuestión, se evidencia la importancia de seleccionar adecuadamente el valor de emisividad de los materiales evaluados, ya que la metodología empleada por parte del equipo para determinar la temperatura de la muestra está regida por la radiación infrarroja emitida por el material, en donde la relación entre temperatura y energía irradiada, es altamente sensible al grado de emisividad del material.

De las curvas de comportamiento térmico de materiales, presentada en las Gráficas 39 a la 86, se sospecha una tendencia de comportamiento térmico de los materiales a ser muy similar en cuanto a la forma, variando simplemente la magnitud de la temperatura en función del grupo de uso del material en cuestión, uso que tiene una relación directa con el aporte potencial al efecto de isla de calor; observándose que los materiales orientados verticalmente (como uso de fachadas) toman valores de temperatura menores a la cobertura natural en el mismo instante t, lo cual muestra que la incidencia de este material no es relevante al efecto de isla de calor (se debe considerar el caso particular de grandes superficies dispuestas como fachada, para validar esta tendencia, posible caso de estudios futuros).

De los ajustes de probabilidad resumidos en la Tabla 7, se confirma la sospecha de tendencias de temperatura de los materiales estudiados evidenciada en las curvas de comportamiento térmico, en donde todas las muestras, exceptuando el pavimento de mezcla densa en caliente color café, se ajustan adecuadamente a distribuciones tipo normal

y logarítmica normal con altos valores de curtosis, lo cual indica que las temperaturas típicas de estas muestras. tienen un alto grado de concentración respecto a la temperatura media encontrada de cada muestra. Al ajustar de forma acorde el grueso de las muestras con el error máximo permitido del 12%, y una confianza del 90%, fue posible generar también las gráficas *cumulative distribution function* (CDF) que permitieron confirmar las observaciones realizadas respecto a las fachadas de las curvas diurnas de comportamiento térmico, al comparar los valores del percentil P85.

De los coeficientes de correlación, mostrados en la Tabla 8, se puede inferir que el comportamiento térmico de todas las muestras estudiadas, responde de forma directamente proporcional a las variables ambientales tales como índice de calor, radiación solar y energía solar, en donde se observa particularmente la estrecha relación entre el comportamiento térmico de las muestras estudiadas y el comportamiento de sensación térmica mostrado en el índice de calor, lo cual es muestra de que la temperatura de los materiales cabalga cerca a el índice de calor, como ha sido observado en estudios anteriores también por parte del Ingeniero Ruiz.

De la revisión de diferencias estadísticamente significativas entre los materiales estudiados en cuestión, mostrado de las tablas Tabla 9 a Tabla 16, se evidencia que la prueba T de Student para determinar diferencia en las medias, a pesar de ser una herramienta relativamente sencilla, es sumamente poderosa para validar la información previamente obtenida y forjar criterio para la toma de decisiones, de donde se puede inferir de forma confiable diferencias significativas de temperaturas esperadas en los materiales de envolvente.

Finalmente, de la matriz de toma de decisión, se puede decir que es una herramienta sencilla y de alta aplicabilidad para evaluar de forma metódica y ordenada la información obtenida en los pasos realizados anteriormente, en donde se vislumbra que la metodología en cuestión realizada en el presente trabajo, es altamente replicable con otros casos de estudio de forma sencilla, lo cual puede generar un aporte al estado del arte a nivel local acerca del tema de la incidencia de envolventes urbanas en el efecto de isla de calor, en donde la metodología desarrollada en cuestión se puede resumir brevemente así:

Selección de materiales:

Definir materiales a evaluar según las necesidades particulares de satisfacción de planos arquitectónicos del proyecto a ejecutar, se debe tener en cuenta también la ubicación y disposición de la infraestructura a ejecutar.

Comportamiento térmico diurno de materiales

Definir nivel de confianza y margen de error a aceptar de los resultados obtenidos en campo, para proceder a definir el lapso de tiempo a evaluar los materiales en cuestión, registrar datos de temperatura y variables ambientales tales como índice de calor, radiación solar y energía solar, generar graficas de diurnas de comportamiento térmico de materiales a contrastar día a día, teniendo en cuenta que las horas de registro de datos, deben ser concordantes respecto a los demás días para disminuir la variabilidad del fenómeno, para conocer de forma general la tendencia del comportamiento térmico de los materiales a estudiar.

Análisis estadístico de base de datos obtenida

Revisar distribuciones de probabilidad a las cuales se ajusten los datos de comportamiento térmico de materiales, en donde se espera un comportamiento con tendencias normales, para generar posteriormente gráficos de distribución de probabilidad acumulada CDF, los cuales permitan comparar el comportamiento de los materiales entre sí, así mismo como respecto a la cobertura natural del sector, esto con el fin de confirmar lo evidenciado en las gráficas diurnas de comportamiento térmico generadas anteriormente, generar además distribuciones de probabilidad de variables ambientales.

Revisar valores de curtosis de las distribuciones obtenidas para determinar la concentración de los datos respecto a la media, en donde se espera que la tendencia sea a concentraciones altas, esto con el fin de que al momento de comparar medias de temperatura entre comportamiento de materiales haya relevancia en lo encontrado.

Evaluar el coeficiente de correlación entre las variables ambientales y el comportamiento térmico de las muestras, para proceder a evaluar la sensibilidad de las condiciones externas en el comportamiento térmico de cada material estudiado.

Comparar mediante pruebas T de Student, los comportamientos térmicos de los materiales estudiados, con el fin de evidenciar diferencias estadísticas en las medias de los materiales estudiados, así mismo como la diferencia de reemplazar la cobertura natural in situ por los materiales de envolvente como tal, en donde se conocerá la diferencia en ordenes de magnitud de la temperatura superficial como tal.

Matriz de resultados

Se organiza la información anteriormente obtenida de la siguiente manera:

Se evalúan cuatro aspectos relevantes, los cuales están constituidos por:

- Potencial de mitigación por percentiles: se asigna la puntuación más alta a los materiales que presenten un desempeño térmico mejor que la cobertura natural ($\text{temperatura}_{\text{muestra } x} < \text{temperatura}_{\text{cubierta natural}}$), considerando el factor de corrección

$$\frac{\sum_{i=1}^n \text{temperatura muestra aislante}_i}{i}$$

A este rubro se le asigna un peso ponderado del 60%

Correlación por variables ambientales (Índice de calor, radiación solar y energía solar): se asigna la puntuación más alta al coeficiente de correlación más bajo respecto a cada una de las variables ambientales, en donde el peso de la relación de cada variable ambiental, respecto al comportamiento térmico de los materiales, estará dado por el porcentaje de participación de la media de la variable ambiental, respecto a la suma de las medias de las variables ambientales, según la siguiente expresión:

$$\frac{\sum_{j=1}^n \mu_{\text{Variable ambiental}}}{j}$$

Se empleará también un factor de corrección para la calificación, en donde el valor de coeficiente de correlación más bajo, estará regido por la expresión:

$$\frac{\sum_{k=1}^n \text{temperatura muestra cuyo } S_{xy} < 0.8}{k}$$

A este rubro, se le asigna un peso del 40%, recordando que para cada variable ambiental, la participación sobre esta proporción, estará regida por la participación de la media del coeficiente de correlación.

4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Mediante el desarrollo de este trabajo se logró identificar las envolventes típicas empleadas en la ciudad de Medellín que tienen impactos en el aumento del efecto isla de calor. Según información arrojada por la encuesta de calidad de vida realizada por Catastro en 2011, citada en el presente trabajo, se logra generar un primer acercamiento para caracterizar las envolventes típicas de la ciudad de Medellín, no obstante se evidenció que es de suma importancia la aplicación de análisis de la información para definir si esta es relevante a la hora de desarrollar un estudio dado, en donde en este caso en particular, se vio que a pesar de ser un buen inicio para definir la tipología de construcciones en la ciudad, es necesario complementar la información existente mediante observación, fruto de trabajo de campo, a través de un recorrido para identificar de primera mano la tipología de la ciudad.

Se logró determinar los parámetros relevantes del experimento físico, las variables a considerar, la metodología a seguir y las propiedades termofísicas de los materiales comúnmente utilizados. Tras la ejecución del presente trabajo, se vislumbró que los apartados de definición de parámetros relevantes, las variables a considerar y metodología a emplear, son sumamente importantes, debiéndoseles dedicar un trabajo juicioso, ya que estos son los lineamientos básicos que constituyen el armazón del estudio en cuestión.

Como resultado del experimento, se conoció el comportamiento térmico de las muestras estudiadas, lo que finalmente permitió forjar criterio para la recomendación de algunos materiales de envoltorio por sobre los demás de forma satisfactoria. También es importante mencionar que este apartado, permitió conocer el estado del arte actual respecto a los temas relacionados con el efecto de isla de calor, en donde se encontró que a nivel mundial es un tema que ya es conocido y de actualidad, en donde las generaciones de nuevos profesionales en el ámbito de la construcción, deben estar enteradas acerca del estado del arte respecto a este fenómeno, con el fin de integrar de forma más fluida las necesidades del hombre con el hábitat que lo rodea, generando menores impactos.

Es de destacar que en el trabajo realizado, se dio aplicación al conocimiento obtenido durante el estudio de la carrera de ingeniería civil, lo cual permitió generar una metodología que a criterio propio es altamente replicable, y puede ser empleada como una metodología base para la toma de decisiones de forma ágil y sencilla.

Durante la ejecución del experimento físico realizado, se evidenció que es un procedimiento altamente replicable con relativa facilidad; las empresas constructoras lo podrían realizar de forma relativamente rápida y sencilla, permitiendo generar la toma de decisiones desde las primeras etapas de factibilidad del proyecto, respecto al uso de envolventes que sean más responsables con el medio ambiente, aportando responsabilidad social para con la comunidad a nivel local en el momento de ejecutar futuros proyectos.

Se encontró que es posible comparar de forma directa el desempeño a nivel térmico de varios materiales empleados en la construcción a nivel local de forma sencilla y confiable., En el caso particular estudiado, se encontró que el uso de algunos materiales determinados tales como teja UPVC con fibra de carbono, presenta un potencial de mitigación al efecto de isla de calor importante, así mismo, se observaron materiales que se deben evitar en la medida de lo posible debido a su alto potencial de aporte al efecto de isla de calor, tales como la teja roja de Onduville, la teja roja Viplast y las cubiertas con acabados gravillados, en el caso de estudio particular de color verde oscuro.

También se vio que los materiales de envolventes que cumplían la función de fachada, cuando se encontraban en orientación vertical, presentaron un comportamiento no relevante al efecto isla de calor como tal, no obstante es importante constatar este hallazgo, en envolventes tipo fachada que cuenten con mayores áreas de cobertura.

Por otro lado se evidenció que las coberturas del suelo con materiales de tipo pavimento, presentaron un comportamiento muy similar entre sí, en donde se debe tener especial cuidado ya que su aporte al efecto de isla de calor es significativo. Es por ello, que se debe considerar realizar un estudio de alternativas de diseño de mezclas asfálticas, que sean técnicamente competentes bajo la normatividad colombiana (INVIAS) y que tengan potencial de mitigación al efecto de isla de calor.

Al momento de contrastar las muestras de materiales evaluadas, fue evidente también que las muestras, ya sean recubiertas o concebidas de color blanco, poseen un potencial de mitigación sumamente alto al efecto de isla de calor, lo cual es debido a que mejoran la reflectividad del material, lo cual se traduce a su vez en una menor absorptividad, y por lo tanto en una menor cantidad de energía almacenada por parte del material, para posteriormente ser emitida en forma de radiación de onda larga infrarroja (calor).

Finalmente como sugerencias para el desarrollo de trabajos futuros se recomiendan:

- Caracterización de coberturas superficiales en la ciudad de Medellín, para evaluar la incidencia de las construcciones actuales en el efecto de isla de calor, a través de herramientas tales como SIG, que permitan determinar parámetros útiles para la selección de materiales.
- Evaluación del impacto económico y viabilidad de la aplicación en la construcción a nivel local, de materiales con potencial de mitigación al efecto de isla de calor.
- Evaluación de impacto de materiales empleados y dispuestos en fachadas de gran superficie en el efecto de isla de calor a nivel local.
- Evaluación del desempeño térmico interno de una edificación empleando materiales con potencial de mitigación al efecto de isla de calor a nivel local.
- Modelación de incidencia de uso de envolventes con potencial de mitigación del efecto de isla de calor a nivel local.

REFERENCIAS


- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. *First International Conference on Passive and LowEnergy Cooling for the Built Environment* (pág. 19). Atenas: Ernest Orlando Lawrence Berkeley NationalLaboratory, Berkeley, CA (US).
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2012). *Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana*. Mendoza: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Alvarez, V. (1996). *Poblamiento y población en el Valle de Aburrá y Medellín 1541 - 1951*. Medellín: Compañía Suramericana de Seguros.
- ARGOS. (Julio de 2015). *Grandes Realidades*. Obtenido de <http://grandesrealidades.argos.co/abc-del-reglamento-colombiano-de-construccion-sostenible/>
- Askeland, D. R., & Phulé, P. P. (2004). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico D.F.: CENGAGE Learning.
- Asociación nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra. (13 de 5 de 2011). *Ventanas al Universo*. Obtenido de <http://www.windows2universe.org/earth/albedo.html&lang=sp&edu=high>
- Asociación Nacional de Maestros de Ciencias de la Tierra. (6 de 10 de 2016). *Ventanas al Universo*. Obtenido de http://www.windows2universe.org/earth/Atmosphere/urban_heat.html&lang=sp&edu=elem
- Bretz, B. P. (1997). Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, 149-158.
- Budikova, D. (3 de 5 de 2015). *The encyclopedia of earth*. Obtenido de <http://www.eoearth.org/view/article/149954/>
- Center for Disease Control and Prevention. (2006). *Extreme Heat: A Prevention Guide to Promote Your Personal Health and Safety*.
- Correa E.N, F. L. (2003). *ISLA DE CALOR URBANA: EFECTO DE LOS PAVIMENTOS. INFORME DE AVANCE*. Mendoza: Universidad Nacional de Salta.
- Davis Instruments. (2016). *Wireless Vantage Pro2 & Vantage Pro2 Plus Stations*. Hayward.
- Dennis, W. D., Mendenhall , W. I., & Scheaffer, R. L. (2002). *Estadística matemática con aplicaciones*. México D.F.: Thompson.

- Echeverri Restrepo, A., & M. Orsini, F. (s.f.). Informalidad y Urbanismo Social en Medellín. *Sostenible*, 11-24.
- Fischer, B. (09 de 05 de 2012). *Oracle OPOWER Blog*. Obtenido de Hot and heavy energy usage: How the demand and price for electricity skyrocketed on a 100° day: <https://blog.opower.com/2012/09/hot-and-heavy-energy-usage-how-the-demand-and-price-for-electricity-skyrocketed-on-a-100-day/>
- Fluke. (2012). *Performance series Thermal Imagers*. Everett: Fluke corporation.
- Fluke. (12 de 2013). *Emissivity values of common materials*. Obtenido de http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/3038318_6251_ENG_C_W.PDF
- Gómez, R. V. (14 de Septiembre de 2014). Por qué se calienta tanto Medellín. *El Colombiano*.
- Hernandez, J., Lopez-Casares, S., & Montero, M. (2013). *Análisis metodológico de la relación entre envolvente y urbanización exterior en construcciones rurales para la mejora de la integración paisajística*. Informes de la construcción.
- International Society for Asphalt Pavements. (2006). 10th International Conference on Asphalt Pavements . *Transportation Association of Canada*, (págs. p. vol3,223-32). Quebec City.
- James, W. (2002). Green roads: research into permeable pavers. *Stormwater*, 40-48.
- Jiménez Mejía , J. F. (2016). *Altura de la Capa de Mezcla en un área urbana, montañosa y tropical - Caso de estudio: Valle de Aburrá (Colombia)*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Lecturas de Economía N° 50. (1999). *Indicador de calidad de los estratos para el Área Metropolitana de Medellín*. Medellín.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). *Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana*. Bogotá.
- Montás, M., & Allende, V. (2007). *Desarrollo Económico*. Obtenido de <https://desarrolloec.wordpress.com/capitulo-13/>
- Mun, J. (2012). *Simulador de riesgo - Manual de usuario en español*. Dublin: Real Options Valuation.
- N. Alchapar, E. C. (2010). ISLA DE CALOR URBANA EN ZONAS ÁRIDAS. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE PAVIMENTOS PEATONALES. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 14.

- Noelia Liliana Alchapar, E. N. (jul./set. de 2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de las islas de calor urbana. *Ambiente construido*, 12(3), 107-123.
- Oke, T. (1982). *The energetic basis of the urban heat island*. Vancouver: Department of Geography, The university of British Columbia.
- Oke, T. (1997). Urban Climates and Global Environmental Change. En R. Thompson, & A. Perry, *Applied Climatology: Principles & Practices* (págs. 273-287). New York: Routledge.
- Onofre Calderon, L. L. (2012). Comparación técnica y económica de diferentes tipos de cubiertas utilizadas en viviendas. Guayaquil.
- Plata, J. O. (1999). El campo y la ciudad: Colombia, de país rural a país urbano. *Credencial Historia*, 119.
- Rother, H. (1989). *El Proceso de Urbanización en Colombia*.
- Rougeron, C. (1977). *Aislamiento acústico y térmico en la construcción*. Barcelona: editores técnicos asociados s.a.
- Ruiz-Arias, J. A., Pozo-Vázquez, D., Lara-Fanego, V., Santos-Alamillos, F. J., & Tovar-Pescador, J. (2011). *A High-Resolution Topographic Correction Method for Clear-Sky Solar Irradiance Derived with a Numerical Weather Prediction Model*. Jaén: MATRAS Research Group, Department of Physics, University of Jaén.
- Shawyer, M., Medina, P., & A.F. (2005). *El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección: <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>
- Shnitter, P., Giraldo, M., & Patiño, J. (2006). La ocupación del territorio en el proceso de urbanización del área metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia. *Scripta Nova - Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales - Universidad de Barcelona*, 83.
- Soluciones arquitectónicas sustentables. (26 de Noviembre de 2015). *Sol-arq*. Obtenido de <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales>
- Tobalina, B. (2007). *Tejados verdes contra el calor*. Madrid: A tu salud.
- Universidad de Alcalá. (2004-2005). *Métodos de Análisis de Datos en Ecología*. Alcalá: Licenciatura de Biología y Ciencias Ambientales - Universidad de Alcalá.
- Universidad de Antioquia. (2010). *La industria en Colombia durante el siglo XX*. Medellín.
- Universidad de Oviedo. (s.f.). *Introducción a los materiales*. Oviedo.

- Universidad Nacional de Colombia. (02 de Julio de 2015). La urbanización y los vehículos motorizados aumentan las temperaturas en Medellín. *Noticias en la Facultad de Minas*, pág. 1.
- US Environmental Protection Agency. (s.f.). *Unites States Environmental Protection Agency*. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-06/documents/basicscompendium.pdf>
- Voogt, J., & Oke, T. (2003). *Thermal Remote Sensing of Urban Areas*. Ontario; Vancouver: Sciense Direct.
- Wright, J. (1999). *Emisividad infrarroja de la atmosfera medida en Heredia, Costa Rica*. San José: Departamento de física Universidad Nacional.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física universitaria*. México: Pearson educación.

ANEXO 1



The form is a rectangular certificate with a double-line border. At the top center, it reads 'Fluke Thermography' followed by 'Certificate of Calibration' in a larger font. Below this, it lists the 'Serial Number: Ti10015050310', 'Model: Fluke Ti100_9Hz Thermal Imager', 'Accuracy: ±2°C or 2% of Reading (whichever is greater)', 'Measurement Temp Range: -20°C to +250°C (Not calibrated under -10°C)', and 'Date: 5/27/2015'. It is signed 'Certified By: Fluke QA Manager'. At the bottom, a paragraph states that the instrumentation has been calibrated to meet or exceed published specifications, traceable to NIST or national metrology institutes, and that the certificate shall not be reproduced without written consent.

Fluke Thermography

Certificate of Calibration

Serial Number: Ti10015050310

Model: Fluke Ti100_9Hz Thermal Imager

Accuracy: $\pm 2^{\circ}\text{C}$ or 2% of Reading
(whichever is greater)

Measurement Temp Range: -20°C to $+250^{\circ}\text{C}$
(Not calibrated under -10°C)


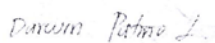
Date: 5/27/2015

Certified By: Fluke QA Manager

Fluke Corporation certifies the above instrumentation has been calibrated to meet or exceed the published specifications. The calibration was performed using instrumentation and standards that are traceable to the United States National Institute of Standards and Technology (NIST), intrinsic standards, or national metrology institutes that actively participates in the activities of the BIPM, directly or indirectly through regional groups. This Certificate/Report shall not be reproduced, except in full, without the written consent of Fluke Corporation.

Anexo 1, certificado de calibración cámara Fluke Ti100

ANEXO 2

 Equipos & Suministros de Laboratorio S.A.S.				NIT: 900.844.641-8 info@eyslaboratorio.com	
Formato de mantenimiento	Elaboró: DFPL	Revisó: MAPV	Fecha de emisión: 16/05/2016		
Código	EIA-053				
Fecha	19/10/2016				
Solicitante:	EIA				
Equipo:	Estación Meteorológica				
Marca:	Davis	Modelo:	Vantage Pro 2		
Serie:		Inventario:			
1. Estado inicial del equipo. Las indicaciones de algunos sensores tanto en la consola como en el software del computador se están perdiendo ocasionalmente.					
2. Descripción del trabajo realizado. <ul style="list-style-type: none"> - Revisión de conexiones y voltajes de alimentación. - Ajuste de programación en las configuraciones por defecto de la consola. - Revisión, limpieza y ajuste de cableado de comunicación de los sensores al receptor. - Revisión física de cada uno de los sensores para cada variable que mide la estación. - Verificación de condiciones apropiadas para que la comunicación por radio frecuencia sea óptima. Se recomienda que para prevenir alguna interferencia, mantenga una distancia de 1 metro entre la consola Vantage Pro y el teléfono inalámbrico (la base y el teléfono). También para una mejor recepción coloque la consola cerca de grandes superficies metálicas. - Limpieza integral externa e interna. - Verificación de funcionamiento de sensores (dirección, temp. externa e interna, Humedad relativa, punto de rocío, precipitaciones, entre otros. Estos se encuentran entre sus parámetros). - Verificación y seguimiento a señales tanto en la consola como en el software de la computadora. Ambas quedan sin problemas. 					
3. Observaciones y recomendaciones. <ul style="list-style-type: none"> - El equipo queda en buenas condiciones operacionales y apto para su uso. - Si se desea cambiar el computador se debe tener las siguientes recomendaciones para el sistema operativo a utilizar: El software Davis Weatherlink es compatible con todas las versiones recientes de Windows, desde XP hasta e incluyendo Windows 8.1 y no hay problemas de compatibilidad conocidos en absoluto. Windows 10 es también totalmente compatible, pero los usuarios de vez en cuando pueden encontrar problemas en conseguir Weatherlink para funcionar correctamente con una copia nueva o recientemente actualizada de Windows 10. Estos problemas generalmente se pueden fijar y se detallan en el tema aparte de Windows 10. Los usuarios de serie (RS232) y registradores de IP, incluyendo aquellas en Windows 10, también son en gran medida inmune a los problemas de compatibilidad, pero los que utilizan la versión USB registrador necesitan tomar un poco más de cuidado. 					
Darwin Felipe Patiño López					
Departamento Servicio Técnico					

Anexo 2, certificado de mantenimiento estación meteorológica Davis Vantage pro 2 Universidad Escuela de Ingeniería de Antioquia

ANEXO 3

Montaje placa horizontal																	
Día	Tiempo	Ladrillo Catalan Oscuro	Ladrillo Catalan Claro	Bloque Sin recubrimiento	Bloque Pintado en blanco	Teja Roja Marca Onduville	Teja Roja Polipropileno Marca Vipplast	Teja Verde Gravillada	Teja Eternit	Teja Aislamiento poliuretano	Pavimento Color Café	Pavimento Color Rojo	Pavimento Microaglomerado en Caliente	Teja UPVC con fibra de carbono	Teja Metalica recubrimiento blanco	Teja Standing Seam FV ATAC N°4 38mm	Grana
oct-04	9:29	29.4	26.1	31.1	19.3	26.6	46.8	49.8	34.6	33.8	26.9	27	29	24.3	29.1	34	19.2
	10:50	37.9	32.4	38.1	27.5	37.5	37.8	40.1	36.1	35.4	41.3	43.8	43.5	24.4	26.9	36.2	29.8
	12:40	21.5	21	23.6	19.7	21.1	18.5	21.2	21.5	17.3	26.5	25.4	26.3	17.1	17.4	17.7	21
	14:45	30.1	27.8	33.5	22.9	40.7	29.8	29.2	35.7	34.6	34	35.7	35.3	26.1	29.7	32.3	26.9
oct-06	9:30	22.2	22	24	19.3	44.9	30.1	31.2	29.6	23.8	27.5	26.5	26.9	16.5	26.4	20	24.3
	11:40	26.1	26.7	32.6	22.9	47.1	50.3	44.9	36.3	38.7	36	26.5	34.5	28.3	35.1	31.6	26
	13:00	25.3	23.6	26.7	21.1	27.3	28.2	28.1	23.9	21.9	29.8	30.8	30.6	19.7	20.1	21.5	23
	14:40	20.7	19.9	24.3	19.2	25.4	24.6	25.6	22.2	18.3	27.4	27.2	27.2	17	17.8	18.9	22.2
oct-10	16:30	16	15.7	17.8	16.1	18.1	16	18.3	16.5	14	20.6	20.3	21	12.8	13.9	14.7	18.5
	10:05	23.1	24	24.3	21.5	46.7	37.7	49.8	25	27.6	26.3	34	35.4	22.6	23.2	31.5	27.8
	12:40	27	26.3	27.4	21.6	35	32.1	34.5	27.5	25.8	31.4	34.6	35.2	21.9	22.7	25.1	24.7
	13:32	25.5	25	25.7	20.7	32.4	27.3	32.1	26.2	21.5	30.9	31.6	31.7	20	21	22.7	23.3
oct-11	9:30	18.5	17.6	19.8	16.8	32.5	27.9	28.1	19.7	20.6	20.1	22.9	24.3	17.8	18.4	20.1	21.7
	11:50	36.9	33.8	31.8	25.3	57.4	32	52.3	30.6	24.5	41.1	42.7	42.5	23.4	23.6	29.8	34.2
	13:38	23.9	23.4	22.8	19.8	23.8	22.7	22.5	21.1	19.5	27.7	28	28.4	18.5	18.9	20.9	22
	15:00	19.7	19.2	19.4	17.8	19.7	21.1	18.4	18.2	16.4	20.7	21.1	20.3	16.4	16.7	17.4	21.7
oct-12	9:15	18.1	17.1	18.2	15.6	21.9	21.4	19.7	18.1	16.7	18.4	18.4	18.9	15.3	15.9	16.5	18.9
	11:45	20.5	20.1	21.3	18.5	33.3	31	31.9	20.9	24.9	22.4	26.7	28.3	19.9	22	25.3	24
	13:35	19.6	19.2	21.3	17.7	31.6	30.8	32.3	21	24.8	21	26.9	27.1	19.9	21.7	23.4	21.5
	15:10	18.2	19.5	20.1	17.2	27.3	24.4	27.4	21	20.3	21.5	25.6	26	18.1	19	21.1	21.8
oct-13	15:50	16.7	17.7	18.4	15.9	21.2	20.5	21.3	18	15.8	21.1	23	23.6	15.5	16	17.5	19.9
	9:20	20.9	21.2	23.7	18.5	28.3	29.8	28.3	22.7	23	29.2	27.4	27.7	19.1	19.5	23	21.2
	10:30	25.5	24.7	24.4	20.1	40.7	37.9	42.6	29	30.2	32.5	33	33	24.3	25.2	29.7	25
	12:11	24.9	24.1	27.2	19.8	31	29.8	33.6	25.9	24.9	29.5	30	30.5	19.2	22.4	22.6	22.6
oct-14	13:20	23.7	21.6	24.7	19.1	34.6	31.1	25.5	24	20.7	27.4	25.1	27.2	18.9	19.7	20.5	23.7
	14:15	27.8	26.2	33	21.3	57.6	50	59.8	36.3	34	34.5	33.8	34.6	24.9	27.7	30.2	27
	15:20	21.3	22	23.8	17.8	22.6	21.4	22.8	20.5	17.4	27.2	27	28	16.3	17	16.7	20.3
	9:20	23.6	22.4	28	20.8	54.7	57.2	52.2	29.1	36.5	27.3	30.6	33.7	21.7	27.5	34.3	28.6
oct-18	10:16	23.3	25.3	28.3	21.9	53.2	49	61.5	34.3	39.9	31.9	36.7	37.5	29.1	31.7	35.4	25.7
	11:20	28.3	28.5	30.9	23.5	36	34.6	36.5	30.2	26.2	36.9	38.5	39.9	22.9	23.5	27.6	25.6
	12:15	33.9	33	38.2	26.1	58.2	51.6	62.3	40.9	37.7	45.4	45.9	45.4	30.5	33.9	36.9	31.7
	13:21	33.5	32.8	39.7	25.3	55.8	54	62.1	42.4	42.9	42	44.4	46	30.8	33.2	37.6	32.2
oct-18	14:25	28.7	28.8	38	24.5	41.8	41.9	42.7	34	38.5	39.1	41.3	41.7	26.5	28.2	29.6	26.1
	9:30	25.7	15.3	15.5	13.8	17	15.8	16.7	16	14.3	15.9	16	16	14.1	14.4	14.6	16.6
	11:40	18.2	17.1	18.3	15.5	20	19.2	20	18.6	16.6	17.9	19	19.5	15.3	15.9	16	19
	12:35	19.7	18.7	19	16.1	18.4	19.3	19.2	17.9	15.4	17.8	18	18	14.8	15	15.8	19.7
oct-19	13:20	17.4	16.6	17	15.4	17.5	17.1	17.8	16.9	15.4	17.8	18	18	14.8	15	15.2	18.1
	14:10	18.1	17.2	17.3	16	17.8	18.2	17	16.6	14.8	17.6	18.1	18.5	14.9	14.7	15.2	18.5
	15:00	16.1	15.7	16.3	15	20.4	20.9	17.2	16.5	14.6	16.9	17.8	18.8	14.5	14.7	14.9	18.2
	8:02	14.9	13.9	15.7	13.9	21.2	20.3	20.8	16.6	14.6	15.5	16.3	17	14.2	15	15	16.5
oct-19	9:43	18.9	17.8	20.7	18.1	31	32.6	30.7	31	24.8	23.9	26.1	27.4	18.7	20.4	22.9	22.7
	13:13	23.1	23.7	26.2	21	26	26.9	27.3	22.9	21.2	29	30.7	31.2	20.1	20.2	22.7	22.8
	14:40	24.3	23	24.9	19.9	25.5	24.5	25.9	23.7	21.3	29.2	28.7	28.8	19.7	20.1	23	24.3
	16:00	17.8	18	20.9	17.6	30.3	28	31.2	23.1	22.6	23.7	23.1	23.7	17.8	19.5	18.7	20.1
oct-20	17:00	22.4	21.8	24.4	19.4	23.4	20.9	22.4	21.9	20.9	28.6	26.3	26.4	17.4	18	20.2	20.8
	9:22	18.3	17.9	20.6	16.5	38.8	31.8	38	23.8	22.9	20.5	20.9	24.2	20.4	22.7	19.8	20.6
	11:00	24.9	25.5	27.7	22.6	42.5	36.6	43	30.3	29	34.6	34.9	35.8	24.6	26.1	31.7	25.2
	12:00	29	28.5	32.7	23.6	49.2	46.2	46.3	38.4	36	40.6	41	41.1	29.3	29.7	34.9	29.8
oct-20	13:10	29.1	28.3	32.5	23.8	35.4	34.7	35.3	30.5	26.8	38.4	38.7	39	23.9	25	30.3	27.9
	14:50	32.6	31.1	40	25.7	52	46.3	53.4	40.1	37.8	42	44.8	45.1	27.8	31.6	35.3	32
	17:00	12	12.6	17	13.7	11.2	12.9	14.2	11.8	8	20.1	20.2	20.5	9.9	10.9	9.6	16.3

Anexo 3, datos obtenidos de mediciones en placa horizontal, (cubiertas y pavimentos)

ANEXO 4

	Montaje Fachada Oriente				Montaje Fachada Occidente			
Tiempo	Ladrillo Catalan Oscuro	Ladrillo Catalan Claro	Bloque Sin recubrimiento	Bloque Pintado en blanco	Ladrillo Catalan Oscuro	Ladrillo Catalan Claro	Bloque Sin recubrimiento	Bloque Pintado en blanco
9:30	21.9	20.6	22.4	18.4	19.5	18	20.4	17.2
11:40	27.1	25.3	28.1	22.6	27.9	24.4	30.1	23.5
13:00	23.4	22.3	24.9	21.5	23	21.3	25.1	20.8
14:40	20.9	20	20.9	19	24.7	22.3	26.1	20.2
16:30	17.8	17.4	17.4	16.9	17.4	16.5	18.6	16.7
10:05	21.7	23.1	20.7	18.9	21.3	19.8	22.3	18.8
12:40	20.4	22.7	21	18.9	23.5	25.4	23.3	21.3
13:32	20.3	20.9	19.8	18.1	23.2	23.2	21.7	20
9:30	17.9	17	17.8	16.2	17.9	16.5	18.2	15.9
11:50	24	27.5	24.2	21.9	25.3	27.1	23.8	23.2
13:38	19.3	19.7	18.8	17.3	19.5	20.8	19	18.4
15:00	18.1	18	17.8	17.2	18.1	17.9	18.4	16.7
9:15	16.3	16.1	16.1	14.8	16.6	15.9	16.9	14.9
11:45	18.9	18.1	18.2	16.8	20.2	19	20.2	17.8
13:35	18.1	17.4	18	16	19.6	18.6	19.4	17.4
15:10	18	19	18.4	16.4	18	17.5	18.7	17
15:50	16.8	17.3	16.7	15.9	16.5	16.2	17.1	15.7
9:20	20.3	21.6	21.1	17.5	18.1	17.5	19.8	17.2
10:30	24.8	24.3	23.9	19.4	24.2	22.7	23.2	20.1
12:11	21.9	21	21.9	18.2	22.5	22.3	23.4	19.1
13:20	20.6	20.2	20	18.5	23.3	21.7	23.2	19.5
14:15	22.4	23	22.2	19.1	30	27.8	31.7	22.4
15:20	19	18	18.7	17	22.6	21.9	24.1	19.3
9:20	22.2	23.2	24.4	21.1	20.8	19.5	23.5	19.4
10:16	21.3	24.3	22.3	19.2	23.3	22	24.6	21.5
11:20	21.4	22.8	19.3	18.4	23.2	24.9	22	21.7
12:15	22.7	24	24	19.8	31.6	31	31	25.7
13:21	20.3	22.4	22.6	18.5	37.6	35.1	37.4	27.6
14:25	19	21.1	20.2	18.1	36.7	35.4	39.8	27.6
9:30	14.5	14.2	14.4	13.2	14.7	14.3	14.7	13.3
11:40	17.7	17.4	18.2	15.4	16.4	15.9	17.1	15.2
12:35	15.6	15.1	15.3	14.7	14.8	15.1	15.9	14.3
13:20	15.6	15.1	15.3	14.7	14.8	15.1	15.9	14.3
14:10	16.5	15.9	16.2	15	15.3	14.7	15.8	14.6
15:00	16	15.1	15.7	14.9	14.7	14.4	15.8	13.8
8:02	14.5	14.2	14.5	12.7	14.7	14.3	15	13.6
9:43	18.4	17.6	18.9	16.5	18.6	18.2	20.3	17.1
13:13	19.8	21.3	19.9	17.7	20.7	21.5	19.8	19.1
14:40	18.8	18.7	19.7	16.4	23	22.1	23.5	19.7
16:00	17.9	17.7	18.1	19	20.3	18.8	22.8	18.4
17:00	19.1	19.3	18.8	17.1	27.4	25.8	30.4	22.2
9:22	18.5	17.2	18	16.8	18.6	17.9	19.4	16.4
11:00	19.9	21.3	21.7	18.8	22.8	23.4	24	20.6
12:00	22.8	24	24.5	21	28.2	27.8	27.9	24.8
13:10	19.9	22.6	21.1	18.8	28	26.8	27.6	23.5
14:50	18.2	21	20.4	17.1	40.8	37.1	44.7	27.8
17:00	13.4	14.3	14.2	13.4	16.9	17.5	19.6	15.5

Anexo 4, datos obtenidos de mediciones en placas verticales, (fachadas)

ANEXO 5

Tabla simplificada datos estación meteorológica							
Fecha	Tiempo	Temperatura Ambiente [°C]	Indice de calor [°C]	Radiación solar [Watt/m2]	Energía solar [Langley]	Dosis UV	Radiación maxima
4/10/2016	9:29	19.9	20.3	1122	8.1	0.4	9.4
4/10/2016	10:50	17	16.9	157.7	1.2	0.1	2
4/10/2016	12:40	17.8	17.9	232	1.7	0.2	5.8
4/10/2016	14:45	20.6	20.6	161.7	1.2	0.1	1.7
6/10/2016	9:30	16.3	16.2	507.4	3.7	0.1	2.8
6/10/2016	11:40	18.7	18.7	849.7	6.1	0.4	9.7
6/10/2016	13:00	18.7	18.7	165	1.18	0.35	9.7
10/10/2016	10:05	16.3	16.1	717	5.14	0.29	8.1
11/10/2016	9:30	17.6	17.7	733	5.3	0.3	6.1
11/10/2016	11:50	17.6	17.6	248.7	1.8	0.1	2.3
11/10/2016	13:38	16.9	16.9	88	0.7	0.1	0.8
11/10/2016	15:10	16.7	16.6	103.5	0.8	0.1	0.8
12/10/2016	9:15	13.1	12.7	310.7	2.3	0.1	2.7
12/10/2016	11:45	15.2	15	318.5	2.3	0.2	3.1
12/10/2016	13:35	16	15.9	304	2.2	0.2	3
12/10/2016	15:10	16.6	16.5	151.4	1.1	0.1	1.8
12/10/2016	15:50	16.6	16.4	101	0.8	0.1	0.9
13/10/2016	9:20	17.2	17.2	906.4	6.5	0.3	7.7
13/10/2016	10:30	17.2	17.1	602	4.4	0.2	7.1
13/10/2016	12:11	17.6	17.6	370.4	2.7	0.2	4.1
13/10/2016	13:20	17	17	401.7	2.9	0.2	3.9
13/10/2016	14:15	19.1	19.1	399.7	2.9	0.3	7.3
13/10/2016	15:20	17.2	17.3	125.4	0.9	0.1	1.6
14/10/2016	9:20	18.8	18.9	1188	8.6	0.3	6.2
14/10/2016	10:16	18.6	18.7	851	6.1	0.4	9.4
14/10/2016	11:20	19	19.1	545.7	4	0.3	7.1
14/10/2016	12:15	20	20.1	1193	8.6	0.3	8.7
14/10/2016	13:21	20.4	20.3	843.7	6.1	0.4	8.6
14/10/2016	14:25	20.3	20.3	136.4	1	0.2	3.9
18/10/2016	9:30	11.9	11.6	160.4	1.2	0.1	1.4
18/10/2016	11:40	14	13.7	247	1.8	0.1	2.2
18/10/2016	12:35	13.9	13.6	245.4	1.8	0.1	2
18/10/2016	13:20	13.1	12.8	162.4	1.2	0.1	1.4
18/10/2016	14:10	13.5	13.2	183.5	1.4	0.1	1.5
18/10/2016	15:00	13.3	12.9	201.5	1.5	0.1	1.5
19/10/2016	8:02	13.1	12.8	225.7	1.7	0.1	1.6
19/10/2016	9:43	15.9	15.8	251.7	1.9	0.2	4.3
19/10/2016	13:13	18.6	18.6	255	1.9	0.1	2.7
19/10/2016	14:40	18.3	18.4	141	1.1	0.1	1.8
19/10/2016	16:00	17.4	17.4	135.7	1	0.1	1.4
19/10/2016	17:00	18.2	18.2	72.4	0.6	0	0
20/10/2016	9:18	14.9	14.7	229	1.7	0.2	4.5
20/10/2016	11:00	18.3	18.4	542	3.9	0.3	7.1
20/10/2016	12:00	19.3	19.5	1200.4	8.7	0.3	7.2
20/10/2016	13:10	19.4	19.3	637.4	4.6	0.2	5.4
20/10/2016	14:50	20.8	20.3	101.7	0.8	0.2	5.2
20/10/2016	17:00	17.1	17	20	0.2	0	0

ANEXO 6

Se adjuntan imágenes por medios digitales en carpeta ImagenesOctubreXX, donde XX es el día de toma de los datos.